Die Bewegung der Ionen im Glimmstrom

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Doktorwürde

genehmigt

von der Philosophischen Fakultät

der

Friedrich-Wilhelms-Universität

zu Berlin.

ACAD.
LUGD.BAT.
BIBL.

Von

Katharina Brockmann
aus Potsdam

Tag der Promotion: 13. März 1915

Referenten:

Prof. Dr. **Wehnelt.**
Prof. Dr. **Planck.**

Emil Ebering, Berlin NW. 7, Mittelstr. 39.

Meiner lieben Mutter

gewidmet.

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41546508_0081

Inhaltsübersicht.

Seite

I. Einleitung 7
II. Versuchsanordnung 8
1. Versuchsgefäß und Elektroden 8
2. Faradaykäfige und Quadrantelektrometer 10
3. Herstellung des Vakuums und Gasfüllung 11
4. Stromquelle 12
III. Messungen 14
IV. Deutung der Versuchsergebnisse 30
V. Das Resultat 33

I.

Einleitung.

Die freie Weglänge der Ionen ist in festen und flüssigen Leitern klein. Die Ionen treffen nach kurzer Zeit wieder auf neutrale Moleküle. Ihre Geschwindigkeit ist im elektrischen Strome an einen entsprechenden Wert der elektrischen Feldstärke geknüpft.

In Gasen dagegen, besonders bei tieferen Drucken, besitzen die Ionen relativ große freie Weglängen. Sie bewegen sich zwischen den neutralen Gasmolekülen hindurch, ohne auf die gesamte Gasmasse als solche einen Impuls auszuüben. Sie können daher unter dem Einflusse eines elektrischen Feldes eine sehr große Geschwindigkeit annehmen und aus diesem heraus in Räume treten, in denen das elektrische Feld im Vergleich zu der Geschwindigkeit der Ionen geringe Stärke hat.

Ionen nun, die infolge einer ihnen an einer Stelle erteilten großen Geschwindigkeit in schwache elektrische Felder treten und sich auf einer beträchtlichen Wegstrecke fortbewegen, haben die Eigenschaften eines Strahls. Sie werden Ionenstrahlen genannt. Die positiven und negativen Ionenstrahlen unterscheiden sich unter anderem voneinander durch ihre Masse. Negative Ionen, deren Masse ungefähr $^1/_{1000}$ der Masse des Wasserstoffatoms beträgt, heißen Elektronen. Ihre Strahlen werden Kathodenstrahlen genannt. Sie kommen in einem elektrischen Felde dadurch zustande, daß die Elektronen eine Spannungsdifferenz frei durchlaufen. Je größer die Spannungsdifferenz ist, desto größer ist die Geschwindigkeit der erzeugten

Kathodenstrahlen. Die bewegten positiven Ionen, die Kanalstrahlen, nehmen, wenn sie eine große Spannungsdifferenz durchlaufen, ebenfalls eine beträchtliche Geschwindigkeit an. Jedoch ist unter gleichen Umständen die Geschwindigkeit der Kanalstrahlen um vieles geringer als die der Kathodenstrahlen, da die Masse der positiven Ionen von der Größenordnung der Masse eines chemischen Atoms und darum um ein Bedeutendes größer ist als die Masse der Elektronen.

Der Zweck der vorliegenden Arbeit war, die Bewegung der positiven Ionen und der Elektronen in Entladungsröhren bei niedrigen Drucken nach einer Methode zu untersuchen, die bereits von A. Wehnelt[1] angewandt wurde. Es soll versucht werden, mit Hilfe der gefundenen Resultate Rückschlüsse auf die Form der Entladung zu ziehen und sich ein Bild von der Entstehung der Kanalstrahlen zu machen.

II.

Versuchsanordnung.

1. Versuchsgefäß und Elektroden.

Als Entladungsrohr (Figur 1) wurde ein Glasrohr (S) benutzt, dessen Länge 91 cm und dessen Durchmesser 5,5 cm betrug. Die Elektroden waren Scheibenelektroden. Ihre Rückseite wurde mit Glimmer bedeckt, damit nicht durch die Beteiligung oder Nichtbeteiligung derselben an der Strömung die Erscheinungen sekundär verwickelt wurden. Die Elektroden bestanden aus Aluminium. Dieses Metall erleidet bei Stromdurchgang nur eine geringe Zerstäubung. Sie wurden stets vor dem Gebrauch mit Petroleum abgeschmirgelt, mit Alkohol gewaschen und im Bunsenbrenner erhitzt. Es mußte auf vollkommene Reinheit derselben geachtet werden, da bei Verunreinigung das Aluminium als Kathode, besonders bei höheren

1. A. Wehnelt: Erlanger Berichte 42, S. 89—96 (1910).

Drucken und stärkeren Strömen, vielfach keine ruhige und stationäre Verteilung des negativen Glimmlichtes zuläßt. Ist das Metall der Kathode mit Verunreinigungen bedeckt, so ist an einzelnen Punkten die Stromdichte größer als in der Umgebung. Es sieht dann aus, als ob an diesen Punkten kleine Fünkchen aus der Kathode hervorbrächen. Bei Gegenwart von Quecksilberdampf wird eine Aluminiumkathode in eigentümlicher Weise verändert. Bringt man sie nämlich, nachdem sie längere Zeit vom Strom durchflossen war, in feuchte Luft, so bedeckt sie sich mit einer Schicht von Aluminiumoxyd.

Im Innern der evakuierten Röhre waren die Elektroden nach folgender Methode beweglich gemacht. Die Röhre wurde vertikal gestellt. Mittels Schliffes war nach unten ein vertikales Barometerrohr (B) von 1,5 cm Durchmesser angebracht. Dieses tauchte in einen Quecksilberbehälter (Q). Durch denselben hindurch führte eine U-förmig gebogene Röhre (U), deren einer Schenkel sich außen in der Atmosphäre befand, während der andere Schenkel in die Stromröhre hineinragte. Durch das U-Rohr hindurch führte ein Messingdraht aus der Atmosphäre in das Entladungsrohr. Mittels eines Schraubengewindes war an dem Draht die eine Elektrode (K), die Kathode, befestigt. An der Austrittsstelle des Drahtes nach der Atmosphäre war die U-Röhre mit Siegellack luftdicht abgeschlossen. Die zweite Elektrode (A), die Anode, hing unter Zwischenschaltung eines in die Elektrode geschraubten kurzen Messingstäbchens an einem spiralförmig gewundenen Lamettafaden. Dieser Lamettafaden war an einen Messingstab gelötet, der durch ein vermittels eines Schliffes mit dem Entladungsrohr verbundenes Glasrohr nach außen führte. Das Glasrohr wurde mit Siegellack luftdicht verschlossen. Die beiden Elektroden wurden durch einen Glasstab von sehr geringem Durchmesser in konstantem Abstand voneinander gehalten. Der Abstand der Elektroden betrug bei den angestellten Versuchen 39 bis 40 cm. Bei der Einführung der Elektroden in das Entladungsrohr wurde besondere Sorgfalt darauf verwendet, daß die beiden Elektroden einander

parallel waren und ihre Oberfläche vertikal zur Achse des Entladungsrohres stand. Die hier angewandte Methode der Verschiebung der Elektroden hat vor der Verschiebung der Elektroden durch einen von außen genäherten Magneten den Vorzug, genaue und schnelle Einstellungen des zu verschiebenden Gegenstandes zu bewirken. Die Verschiebung der Elektroden wurde an einer an dem Stromgefäß angebrachten Skala gemessen. An dem Barometerrohr befand sich seitlich ein Schliff, der die Verbindung mit der Gaedepumpe herstellte.

Die Anwendung der Schliffe bei dem Aufbau des Entladungsrohres ermöglichte es, das Entladungsrohr zwecks Reinigung der Elektroden häufiger auseinanderzunehmen. Dieses war nach den einzelnen Messungsgruppen notwendig, da bei Einlassen von Luft, die, obgleich über Phosphorsäureanhydrid geführt, dennoch einen gewissen Feuchtigkeitsgehalt besaß, die Aluminiumkathode sich infolge der Gegenwart von Quecksilberdampf mit einer lockeren weißlichen Schicht von Tonerde bedeckte.

2. Faradaykäfige und Quadrantelektrometer.

In der Mitte des Entladungsrohres war vertikal zum Rohr ein Schliff angeblasen, durch den die Sonde in das Stromrohr eingeschoben wurde. Als Sonden dienten Faradaykäfige (Figur 2a und Figur 2b). Sie bestanden aus Messingröhrchen von 1,99 mm Durchmesser, die in isolierenden Glasröhren steckten. Wenn der Faradaykäfig die Ionen, die sich vertikal zur Achse des Entladungsrohres bewegten, auffangen sollte, war der Teil des Messingröhrchens, der in die Entladungsbahn hineinragte, unten offen (Figur 2a). Sollte der Faradaykäfig die Ionen auffangen, die sich parallel der Achse des Entladungsrohres bewegten, so war das Messingröhrchen unten mit einem Messingdeckel verschlossen und besaß seitlich eine 2 mm vom Ende entfernte kleine kreisförmige Oeffnung, deren Durch-

messer meistens 1,2 mm betrug (Figur 2b). In dem Messingröhrchen der Faradaykäfige befand sich von dem Messingröhrchen durch ein feines Glasröhrchen isoliert als zweite Elektrode ein Messingdraht von 0,39 mm Durchmesser. Wenn nun positive Ionen oder Elektronen auf den Faradaykäfig in der durch die Pfeile angedeuteten Richtung trafen, so luden sie die Innenelektrode positiv bzw. negativ auf. Nach außen waren die einzelnen Teile des Faradaykäfigs durch Siegellack luftdicht abgeschlossen.

Die Ladungen, die der Faradaykäfig annahm, wurden mit einem Thomsonschen Quadrantelektrometer gemessen, das durch Benutzung verschiedener Hilfspotentiale auf beliebige Empfindlichkeit gebracht werden konnte. Außerdem war die Vorrichtung zur Einstellung des Abstandes der beiden Fädchen der bifilaren Aufhängung derart angefertigt worden, daß die Fädchen in beliebig geringen Abstand voneinander gebracht werden konnten. So war es möglich, dem Elektrometer eine sehr große Empfindlichkeit zu geben.

Das Quadrantelektrometer wurde geeicht, indem die Ausschläge beobachtet wurden, die mit einem Voltmeter gemessene Potentiale hervorbrachten. Die mit verschiedenen Hilfspotentialen erhaltenen Eichungskurven waren linear. Wegen der unvermeidlichen Schwankungen des Hilfspotentials wurde die Empfindlichkeit des Elektrometers für die verschiedenen Hilfspotentiale von Zeit zu Zeit neu bestimmt.

Um Störungen durch kriechende Ladungen der Hochspannung zu vermeiden, wurden blanke Drähte als Zuleitungen zum Elektrometer benutzt. Die Isolierung der einzelnen Teile des Aufbaus geschah unter Anwendung von Paraffin. Die nicht zu isolierenden Teile des Aufbaus wurden mit Belegungen von Stanniol versehen, die zur Erde abgeleitet wurden.

3. Herstellung des Vakuums und Gasfüllung.

Zur Verdünnung des Gases in dem Entladungsrohr diente

eine Gaedepumpe (Figur 1). Zwischen Entladungsrohr und Gaedepumpe war ein Trockengefäß (P) mit Phosphorsäureanhydrid geschaltet. Außerdem befand sich vor dem Entladungsrohr eine Glaskugel (V) von 25,26 cm Durchmesser. Diese Kugel besaß also ein Volumen, das ungefähr 4 mal so groß war wie das Volumen des Entladungsrohres. Die Kugel diente dazu, während Stromdurchganges durch das Entladungsrohr den Einfluß der Selbstevakuation herabzusetzen. Die Messung des Druckes geschah mit einem Mac Leod-Manometer.

Da von den Glaswänden und aus den Metallelektroden adsorbierte Gase und Dämpfe allmählich frei werden, so war es nötig, während der Evakuation diese Gasentwicklung zu beschleunigen. Deswegen wurde das Stromgefäß während des Evakuierens mit einem Bunsenbrenner vorsichtig erwärmt. Gleichzeitig ließ ich durch das Gas zwischen den Metallelektroden einen zulässig starken Strom übergehen.

Als Gasfüllung für das Entladungsrohr dienten Luft und Wasserstoff. Bei den Messungen mit Luft war ein poröser Kontakt vor das Entladungsrohr geschaltet, der durch Einlassen von Luft selbst die geringste Variierung des Druckes erlaubte. Der Wasserstoff wurde mittels eines Palladiumröhrchens aus dem Bunsenbrenner gewonnen.

Durch verschiedene angestellte Versuche ist es Tatsache geworden, daß sich sämtliche Gase elektrisch qualitativ gleich verhalten. Da es sich in der folgenden Arbeit um das Studium allgemeiner Eigenschaften und nicht um die Ermittelung charakteristischer Konstanten handelt, so konnte ich mit Gasgemischen arbeiten. Daher war es nicht nötig, auf höchst mögliche Reinheit der Gase große Sorgfalt zu verwenden.

4. Stromquelle.

Nach einer Reihe von Vorversuchen erwies sich folgende Anordnung der Apparate als geeignet (Figur 3). Als Stromquelle diente zu den Versuchen eine Hochspannungs-Akkumu-

latorenbatterie (H), deren Spannung gegen 2000 Volt betrug. Der positive Pol der Batterie wurde mit der Anode (A) im Versuchsgefäß (S) verbunden, während die Kathode (K) geerdet war. Die Hochspannungsbatterie lieferte konstante Ströme, die durch ein in den Stromkreis geschaltetes Telefon (T) auf Gleichmäßigkeit geprüft wurden. Als Widerstand (W) vor dem Entladungsrohr (S) wurde eine ziemlich konzentrierte Lösung von Jodkadmium in Amylalkohol benutzt. Es reichten bei den Versuchen zwei Gruppen von Jodkadmiumwiderständen aus. Um kleine Stromstärken zu erhalten, benutzte ich ein U-förmig gebogenes Rohr von 1,35 cm Durchmesser und 42,8 cm Schenkellänge. Um größere Stromstärken zu erhalten, wurde ein einfaches 2,96 cm weites Rohr verwendet, das also kleineren Widerstand besaß. Als Elektrode des Widerstandes diente amalgamiertes Kadmium. Die Elektroden konnten in den Widerstandsgefäßen herauf und herunter bewegt werden, so daß es möglich war, den Strom durch das Entladungsrohr beliebig zu variieren. Zur Messung der Spannung, die an das Entladungsrohr gelegt wurde, wurde ein Braunsches Elektrometer (E) mit einem Meßbereich bis zu 2000 Volt verwendet. Die Stärke des elektrischen Stromes bestimmte ich mit Hilfe eines Mikroampèremeters (G) von Keiser & Schmidt, das, um die Empfindlichkeit herabzusetzen, zu Widerständen (R) geeigneter Größe in Nebenschluß gelegt wurde. Diese Widerstände wurden durch Drähte aus Manganin gebildet, die in zweckentsprechender Länge über ein Lineal gespannt waren. Die Widerstandsbestimmung der Manganinwiderstände ebenso wie des Ampèremeters geschah in der Wheatstone-Kirchhoffschen Brücke. Die Eichung des Ampèremeters erfolgte, indem ich ein Element von bekannter elektromotorischer Kraft und einen bekannten großen Widerstand zum Stromkreise schloß und das Ampèremeter an einen Nebenschluß legte. Sei E die elektromotorische Kraft, z der Widerstand des Nebenschlusses, W der Gesamtwiderstand der Leitung ohne Galvanometerzweig, γ der Widerstand des Ampèremeters, dann ist

$$i = \frac{E \cdot z}{W \cdot \gamma + W \cdot z - z^2}$$

die dem Ausschlag des Ampèremeters entsprechende Stromstärke. Es wurde eine Eichkurve des Ampèremeters aufgenommen, die auf ihre Richtigkeit wiederholt geprüft wurde.

III.

Messungen.

Nach der Zusammensetzung des Rohres wurden die verschiedenen Faradaykäfige in die Strombahn eingeführt. Die Messungen wurden in den einzelnen Schichten des Glimmstromes und an deren Grenzen vorgenommen. Die Verschiebbarkeit der Elektroden gestattete es, den Käfig in die verschiedenen Teile der Entladungsbahn zu bringen. Die Elektroden wurden so verschoben, daß der Faradaykäfig durch den Glimmstrom von der Kathode zur Anode hin oder in umgekehrter Richtung wanderte. Die angewandte Methode der Verschiebung ermöglichte es, den Faradaykäfig ziemlich genau an die durch die Vorversuche ermittelten für den Zweck der Messungen geeignetsten Stellen des Glimmstromes zu bringen.

Die innere Elektrode des Faradaykäfigs fing die vertikal zur Achse des Entladungsrohres sich bewegenden Ionen bzw. die Ionen auf, die sich parallel der Achse des Stromrohres bewegten. Es wurde bei der Anfertigung der Faradaykäfige besondere Sorgfalt darauf verwendet, daß die Isolation zwischen äußerer und innerer Elektrode des Käfigs eine gute war. Die Einstellung des Elektrometers, das zur Messung der durch die Ionen bewirkten Aufladung des Faradaykäfigs diente, erfolgte sofort. Es wurde während einer einzelnen Messung Strom und Druck konstant gehalten.

1. Messungen mit dem Faradaykäfig, der die vertikal zur Achse des Rohres sich bewegenden Ionen auffing.

Es wurde zunächst der Käfig benutzt, dessen Oeffnung sich am unteren Ende des Messingröhrchens befand (Figur 2a). Die Innenelektrode wurde also mit den Ionen geladen, die sich vertikal zur Achse des Entladungsrohres bewegten. Der Faradaykäfig ragte bei den Messungen meistens 10 mm tief in das Stromrohr hinein und stand genau vertikal zur Achse des Versuchsgefäßes.

Gehen wir nun bei der Feststellung der gefundenen Resultate von der Kathode aus. Der Faradaykäfig nahm in der ersten Kathodenschicht und im dunklen Kathodenraum negative Ladungen an, deren Maximum sich kurz vor der ungefähren Grenze der ersten Kathodenschicht und des Crookesschen Dunkelraumes befand. Nach der Kathode zu nahm die negative Ladung ab. Ich konnte den Faradaykäfig bis zu einer Entfernung von 2 mm an die Kathode heranbringen und Messungen vornehmen. In noch größerer Nähe der Kathode konnte ich nicht messen, da der Käfig dort die Entladung störte und infolgedessen das Elektrometer keinen konstanten Ausschlag gab. Noch im dunklen Kathodenraum kurz vor seiner Grenze gegen die negative Glimmschicht sank die Ladung des Käfigs auf den Wert null, und der Käfig nahm nunmehr noch im dunklen Kathodenraume eine positive Ladung[1] an, die ungefähr an der Grenze des Dunkelraumes und der negativen Glimmschicht ihr Maximum erreichte. Dann sank die Ladung schnell und nahm in der negativen Glimmschicht und im Faradayraum bei den verschiedenen Messungen positive oder negative Werte an, die von geringer Größenordnung waren. In der geschichteten positiven Säule fand ich positive Ladungen. Die verschiedenen Querschnitte der geschichteten positiven Säule waren hinsichtlich

1. E. Goldstein: Verh. d. D. phys. Ges. 3, S. 194—195 (1901); A. Wehnelt: Ann. d. Phys. 10, S. 570—573 (1903).

der Größe der Ladungen, die sie dem Faradaykäfige erteilten, nicht gleichwertig. Das Minimum der Ladungen befand sich kurz vor den Schichtköpfen, das Maximum dagegen zwischen den Schichten in den nach der Anode hin gelegenen Ausläufern der Schichtköpfe. Das Maximum der Ladung in der ersten nach der Kathode hin gelegenen Schicht der positiven Säule zeigte einen höheren Wert als das Maximum in den übrigen Schichten. In der ungeschichteten positiven Säule fand ich eine geringe positive Ladung. Unmittelbar an der Anode sank bei geschichteter wie ungeschichteter Innenionisierung die positive Ladung auf den Wert Null, und es zeigte sich in der Anodenschicht eine negative Aufladung des Faradaykäfigs.

Mit wachsender Stromstärke wuchsen bei konstantem Druck die Ladungen, die der Faradaykäfig annahm. Ebenso nahmen seine Aufladungen mit wachsendem Drucke bei konstant gehaltener Stromstärke zu. In der geschichteten wie ungeschichteten positiven Säule fand ich auch mit wachsender Stromstärke bei konstantem Druck eine Zunahme der Ladungen des Käfigs und ein Wachsen der Differenzen zwischen dem Maximum und dem Minimum in der geschichteten Säule. Mit wachsendem Drucke zeigte sich bei konstanter Stromstärke eine Abnahme der Ladungen in der positiven Säule und eine Abnahme der Differenzen zwischen dem Maximum und dem Minimum in der geschichteten Säule.

Die Kurven in den Figuren 4—9 geben ein Bild von den gefundenen Resultaten. Der senkrechte Strich in den Kurven bedeutet die Grenze des jeweiligen dunklen Kathodenraumes. Die Kurven in den Figuren 4—6 sind aufgenommen worden, während sich in dem Entladungsrohr Luft befand. Die einzelnen Messungsreihen in der Figur 4 zeigen die Abhängigkeit der Ladungen des Faradaykäfigs von der Stromstärke bei konstant gehaltenem Druck. Ueber die bei den Messungen der Figur 4 benutzten Drucke und Stromstärken gibt Tabelle 1 Auskunft.

Tabelle 1.

	Figur 4 a $p = 0{,}075$ mm	Figur 4 b $p = 0{,}125$ mm	Figur 4 c $p = 0{,}163$ mm	Figur 4 d $p = 0{,}228$ mm
i für o———o	$= 0{,}34.10^{-3}$ A	$= 0{,}34.10^{-3}$ A	$= 0{,}34.10^{-3}$ A	$= 0{,}34.10^{-3}$ A
o– – –o	$= 0{,}58.10^{-3}$ A	$= 0{,}58.10^{-3}$ A	$= 0{,}58.10^{-3}$ A	$= 0{,}58.10^{-3}$ A
o·····o	$= 1{,}0\ .10^{-3}$ A	$= 1{,}0\ .10^{-3}$ A	$= 1{,}0\ .10^{-3}$ A	$= 1{,}0\ .10^{-3}$ A
o–·–·–o	$= 1{,}8\ .10^{-3}$ A			

	Figur 4 e $p = 0{,}265$ mm	Figur 4 f $p = 0{,}45$ mm
i für o———o	$= 0{,}34.10^{-3}$ A	$= 0{,}34.10^{-3}$ A
o– – –o	$= 0{,}58.10^{-3}$ A	$= 0{,}58.10^{-3}$ A
o.....o	$= 1{,}0\ .10^{-3}$ A	$= 1{,}0\ .10^{-3}$ A
o–·–·–o	$= 1{,}8\ .10^{-3}$ A	

Die einzelnen Messungsreihen in der Figur 5 zeigen die Abhängigkeit der Ladungen des Faradaykäfigs vom Drucke bei konstant gehaltener Stromstärke. Tabelle 2 gibt die bei diesen Messungen benutzten Stromstärken und Drucke an.

Tabelle 2.

	Figur 5 a $i = 0{,}34\ .\ 10^{-3}$ A	Figur 5 b $i = 1{,}0\ .\ 10^{-3}$ A
i für o———o	= 0,075 mm	= 0,075 mm
o– – –o	= 0,125 „	= 0,125 „
o .....o	= 0,163 „	= 0,163 „
o–·–·–·o	= 0,195 „	= 0,195 „
o – – ..o	= 0,228 „	= 0,228 „
o– ...–o		= 0,45 „

Die Kurven in den Figuren 6a u. 6b stellen den Verlauf der Ladungen des Käfigs in der geschichteten, die Kurven in den Figuren 6c und 6d den Verlauf der Ladungen des Käfigs in der ungeschichteten positiven Säule dar. Die bei diesen Messungen

benutzten Drucke und Stromstärken werden in Tabelle 3 mitgeteilt.

Tabelle 3.

	Figur 6 a p = 0,163 mm	Figur 6 b p = 0,265 mm	Figur 6 c p = 0,35 mm	Figur 6 d p = 0,45 mm
i für o———o	$=0{,}34.10^{-3}$A	$=0{,}34.10^{-3}$ A	$=0{,}34.10^{-3}$A	$=0{,}34.10^{-3}$A
o — — —o	$=0{,}58.10^{-3}$A	$=0{,}58.10^{-3}$ A	$=0{,}58.10^{-3}$A	
o.....o	$=1{,}0.10^{-3}$ A	$=1{,}0.10^{-3}$ A		

Bei den in Luft angestellten Messungen betragen die Maxima der negativen Ladung in der ersten Kathodenschicht 20—25 Volt, die positiven Maxima im dunklen Kathodenraum 1—6 Volt.

Die Kurven in den Figuren 7—9 sind in Wasserstoff aufgenommen. Die einzelnen Messungsreihen in der Figur 7 zeigen die Abhängigkeit der Ladungen des Faradaykäfigs von der Stromstärke bei konstant gehaltenem Drucke. Aus der Tabelle 4 ersieht man die zu den einzelnen Kurven gehörenden Drucke und Stromstärken.

Tabelle 4.

	Figur 7 a p = 0,5 mm	Figur 7 b p = 0,6 mm
i für o———o		$=0{,}39.10^{-3}$A
o — — —o	$=0{,}75.10^{-3}$A	$=0{,}75.10^{-3}$A
o.....o	$=0{,}89.10^{-3}$A	$=0{,}89.10^{-3}$A
o —.—.—o	$=1{,}02.10^{-3}$A	$=1{,}02.10^{-3}$A
o——..—o		$=1{,}37.10^{-3}$A

Die Kurven in den einzelnen Messungsreihen der Figur 8

sind bei verschiedenen Drucken bei konstant gehaltener Stromstärke aufgenommen worden. Die Größe der Stromstärken und Drucke habe ich in Tabelle 5 angegeben.

Tabelle 5.

	Figur 8 a $i = 0{,}39.10^{-3}$A	Figur 8 b $i = 0{,}89.10^{-3}$A	Figur 8 c $i = 1{,}02.10^{-3}$A	Figur 8 d $i = 1{,}37.10^{-3}$A
p für o——o		= 0,5 mm	= 0,5 mm	
o– –o	= 0,6 mm	= 0,6 mm	= 0,6 mm	= 0,6 mm
o·····o	= 0,67 mm	= 0,67 mm	= 0,67 mm	= 0,67 mm

Die Kurven in Figur 9 geben ein Bild des Ladungsverlaufes in der geschichteten und ungeschichteten positiven Säule. Aus Tabelle 6 ersieht man die Drucke und Stromstärken, die während dieser Messungen herrschten.

Tabelle 6.

	Figur 9 a p = 0,5 mm	Figur 9 b p = 0,67 mm
i für o———o		$= 0{,}39.10^{-3}$A
o– – –o	$= 0{,}75.10^{-3}$A	$= 0{,}75.10^{-3}$A
o ·····o		$= 0{,}89.10^{-3}$A
o–.–.–o	$= 1{,}02.10^{-3}$A	$= 1{,}02.10^{-3}$A

Die Maxima der Ladungen in der ersten Kathodenschicht liegen bei den in Wasserstoff angestellten Messungen zwischen 9 und 12 Volt, die Maxima der positiven Werte im Crookesschen Dunkelraume zwischen 0,6 und 2 Volt.

Die Messungen haben gezeigt, daß in Luft und Wasserstoff qualitativ keine Unterschiede bestehen. Die Werte der Ladungen in Wasserstoff sind aber, obgleich bei höheren Drucken als

in Luft aufgenommen, um vieles kleiner als die Werte der Ladungen in Luft. Diese Erscheinung deckt sich mit dem von Kaufmann[1] durch Messungen des Zerstreuungskoeffizienten gefundenen Resultate, daß die Zerstreuung der Kathodenstrahlen in Wasserstoff am kleinsten ist. Auch in der positiven Säule finden sich in Luft höhere Ladungen als in Wasserstoff. Die Differenzen zwischen den Maxima und Minima in der positiven Säule sind in Luft größer als in Wasserstoff.

Nach den gefundenen Resultaten befindet sich in der ersten Kathodenschicht und im Crookesschen Dunkelraume eine negative Zone. Dicht vor der Grenze des dunklen Kathodenraumes gegen die negative Glimmschicht dagegen tritt eine positive Zone auf. In unmittelbarer Nähe der Kathode finde ich eine Abnahme der negativen Ladung. Die positive Zone aber, die sich dicht an der Kathode befinden muß, konnte nicht ermittelt werden, da ich, wie bereits erwähnt, in so großer Nähe der Kathode nicht messen konnte. In der positiven Säule treffen positive Ionen in den Käfig. In der Anodenschicht befindet sich eine negative Zone.

2. Messungen mit dem Faradaykäfig, der die von der Kathode nach der Anode parallel der Achse des Rohres sich bewegenden Ionen auffing.

Bei den folgenden Messungen wurde der Käfig (Figur 2b) angewendet, der unten verschlossen war und seitlich eine kreisförmige Oeffnung besaß. Er wurde so in das Entladungsrohr eingeführt, daß die Oeffnung der Kathode zugekehrt war. Er nahm also die Ionen auf, die sich der Achse des Entladungsrohres parallel von der Kathode zur Anode bewegten . Bei der größten Anzahl der Messungen war der Faradaykäfig 20 mm tief in das Entladungsrohr hineingeschoben.

Ich bewegte nun die Elektroden, so daß der Käfig durch die

1. Kaufmann: Wied. Ann. 69, S. 95 (1899).

verschiedenen Entladungsschichten wanderte. Bei der folgenden Betrachtung der Potentialwerte, die der Käfig annahm, werde von der Kathode ausgegangen. Die Spannungen, die das Elektrometer in der ersten Kathodenschicht und im dunklen Kathodenraum anzeigte, waren durchweg negative. Dicht an der Kathode war der negative Wert ein geringerer. Das Maximum der negativen Ladung lag noch in der ersten Kathodenschicht, dicht vor dem Uebergang der leuchtenden Kathodenschicht in den Crookesschen Dunkelraum. An der ungefähren Grenze der ersten Kathodenschicht gegen den dunklen Kathodenraum war noch ein ziemlich hoher negativer Wert vorhanden. Er sank im dunklen Kathodenraum, um an der Grenze desselben gegen die negative Glimmschicht noch nicht klein zu sein. Unmittelbar nach der Grenze aber sank in der negativen Glimmschicht die negative Ladung schnell auf Null und schlug in eine positive um. In der negativen Glimmschicht und im Faradayraum blieben die Potentiale durchweg positiv. Es zeigte sich in der negativen Glimmschicht und im Faradayraum von der Kathode zur Anode gerechnet ein geringes Ansteigen der positiven Ladung des Käfigs. Kurz vor der positiven Säule trat ein Sinken der positiven Ladung ein. Denn das Minimum der Ladung in der positiven Säule liegt an dem der Kathode zugewandten Teile des Schichtkopfes. In der geschichteten positiven Säule zeigte die Ladung, die der Faradaykäfig annahm, periodische Schwankungen. Es fand sich in dem der Kathode zu gelegenen Anfange der Schichtköpfe eine negative Ladung, während zwischen den einzelnen Schichten die Ladung positiv war. Im ganzen Rohr ist positive Ladung vorhanden, die nur an den Stellen, wo die Elektronen eine solche Geschwindigkeit erreicht haben, daß sie wieder zu ionisieren vermögen, herabgesetzt wird[1]. Eine solche Stelle befindet sich kurz vor den Schichtköpfen. Das Maximum der positiven Potentiale in der geschichteten positiven Säule befand sich in den nach der Anode

1. E. Goldstein: Wied. Ann. 11. S. 831 (1880).

hin gelegenen Ausläufern der leuchtenden Teile. Das Maximum der positiven Ladung in der ersten nach der Kathode zu gelegenen Schicht war um ein Geringes höher als das Maximum in den anderen Schichten. In der ungeschichteten positiven Säule traten durchweg von der Kathode zur Anode ein wenig steigende positive Ladungen auf. In der Anodenschicht fand ich bei geschichteter wie ungeschichteter Innenionisierung ein plötzliches schroffes Ansteigen der positiven Ladung.

Die Ladungen, die der Faradaykäfig annahm, wuchsen bei konstant gehaltenem Drucke mit der Stromstärke. Wurde die Stromstärke konstant gehalten, so wuchsen die Potentiale mit wachsendem Drucke. Bei tiefen Drucken nahmen die Ladungen des Käfigs bei konstanter Stromstärke mit abnehmendem Drucke wieder zu. Die Differenz zwischen dem Maximum und dem Minimum in der geschichteten positiven Säule nahm mit wachsender Stromstärke um ein Geringes zu, während sie mit zunehmendem Drucke bei konstantem Strome abnahm.

In den Figuren 10—15 sind die Kurven dargestellt, die bei der zuletzt besprochenen Versuchsanordnung in Luft bzw. Wasserstoff aufgenommen wurden. Der senkrechte Strich in den Kurven bedeutet die Grenze des jeweiligen dunklen Kathodenraumes. Die Kurven in den Figuren 10—12 geben ein Bild von den Ladungen des Käfigs in Luft. Figur 10 zeigt die Abhängigkeit der Ladungen von der Stromstärke bei konstant gehaltenem Drucke. Die Größen der Drucke und Stromstärken ergeben sich aus Tabelle 7.

Tabelle 7.

	Figur 10 a $p = 0{,}054$ mm	Figur 10 b $p = 0{,}085$ mm	Figur 10 c $p = 0{,}13$ mm	Figur 10 d $p = 0{,}22$ mm
i für o – – – o	$=0{,}12.10^{-3}$A	$=0{,}12.10^{-3}$A	$=0{,}12.10^{-3}$A	$=0{,}12.10^{-3}$A
o – – – o		$=0{,}19.10^{-3}$A		
o . . . . . o			$=0{,}34.10^{-3}$A	$=0{,}34.10^{-3}$A
o – . – . – o	$=0{,}47.10^{-3}$A	$=0{,}47.10^{-3}$A	$=0{,}47.10^{-3}$A	$=0{,}47.10^{-3}$A
o – – . . – o	$=0{,}74.10^{-3}$A	$=0{,}74.10^{-4}$A	$=0{,}74.10^{-3}$A	$=0{,}74.10^{-3}$A
o – . – . – o		$=1{,}05.10^{-3}$A	$=1{,}05.10^{-3}$A	$=1{,}05.10^{-3}$A

Die Messungsreihen in Figur 11 sind bei verschiedenen Drucken aufgenommen worden, während die Stromstärke konstant gehalten wurde. In Tabelle 8 habe ich die bei diesen Messungen benutzten Stromstärken und Drucke angegeben.

Tabelle 8.

	Figur 11 a $i = 0{,}12 . 10^{-3}$ A	Figur 11 b $i = 0{,}47 . 10^{-3}$ A	Figur 11 c $i = 0{,}74 . 10^{-3}$ A	Figur 11 d $i = 1{,}05 . 10^{-3}$ A
p für o– – –o	= 0,085 mm	= 0,085 mm	= 0,085 mm	= 0,085 mm
o . . . . o	= 0,108 „	= 0,108 „	= 0,108 „	
o– . –o				= 0,13 „
o– –. .o	= 0,165 „	= 0,165 „	= 0,165 „	= 0,165 „
o– . . –. .o	= 0,22 „	0,22 „	= 0,22 „	= 0,22 „

Die Kurven in der Figur 12 sind in der geschichteten und ungeschichteten positiven Säule aufgenommen worden. Tab. 9 gibt die bei diesen Messungen benutzten Drucke und Stromstärken an.

Tabelle 9.

	Figur 12 a p = 0,13 mm	Figur 12 b p = 0,165 mm
i für o——o	$= 0{,}12 . 10^{-3}$ A	$= 0{,}12 . 10^{-3}$ A
o – –o		$= 0{,}19 . 10^{-3}$ A
o . . . o	$= 0{,}34 . 10^{-3}$ A	$= 0{,}34 . 10^{-3}$ A
o–.–.o	$= 0{,}47 . 10^{-3}$ A	$= 0{,}47 . 10^{-3}$ A
o– –. .o		$= 0{,}74 . 10^{-3}$ A
o– . .–o	$= 1{,}05 . 10^{-3}$ A	$= 1{,}05 . 10^{-3}$ A

Wie man aus den Kurven ersieht, betragen die Maxima der negativen Ladung in der ersten Kathodenschicht bei den in den Messungen angewandten Drucken und Stromstärken zwischen 28 und 57 Volt.

Die Kurven in den Figuren 13—15 wurden in Wasserstoff erhalten. Figur 13 zeigt die Abhängigkeit der Ladung des

Faradaykäfigs von der Stromstärke bei konstant gehaltenem Drucke. Tabelle 10 gibt die Größe der bei den Messungen benutzten Drucke und Stromstärken an.

Tabelle 10.

	Figur 13 a p = 0,34 mm	Figur 13 b p = 0,495 mm	Figur 13 c p = 0,555 mm
i für o———o	$=0{,}14.10^{-3}$ A	$=0{,}14.10^{-3}$ A	$=0{,}14.10^{-3}$ A
o– – –o	$=0{,}19.10^{-3}$ A	$=0{,}19.10^{-3}$ A	$=0{,}19.10^{-3}$ A
o.....o	$=0{,}41.10^{-3}$ A	$=0{,}41.10^{-3}$ A	$=0{,}41.10^{-3}$ A
o– . – .o			$=0{,}59.10^{-3}$ A
o– – . .o	$=0{,}95.10^{-3}$ A	$=0.95.10^{-3}$ A	
o– . . –o		$=1{,}10.10^{-3}$ L	$=1{,}10.10^{-3}$ A
o–...–o	$=1{,}49.10^{-3}$ A		

In den Messungsreihen der Figur 14 erhalten wir ein Bild von der Abhängigkeit der Ladungen des Käfigs von dem Drucke bei konstanter Stromstärke. Tabelle 11 gibt die bei diesen Messungen benutzten Stromstärken und Drucke an.

Tabelle 11.

	Figur 14 a $i = 0{,}41.10^{-3}$A	Figur 14 c $i = 0{,}95.10^{-3}$A	Figur 14 c $i = 1{,}10.10^{-3}$A
p für o———o	= 0,34 mm	= 0,34 mm	= 0,34 mm
o– – – o	= 0,43 mm	= 0,43 mm	= 0,43 mm
o .....o	= 0,495 mm	= 0,495 mm	= 0,495 mm
o–.–.–.o	= 0,555 mm		= 0,555 mm

In der Figur 15 ist der Verlauf der Ladungen, die der Faradaykäfig in der geschichteten und ungeschichteten positiven Säule annahm, dargestellt. Die Drucke und Stromstärken, bei denen diese Kurven aufgenommen wurden, sind in Tabelle 12 angegeben.

Tabelle 12.

	Figur 15 a p = 0,43 mm	Figur 15 b p = 0,495 mm
i für o——— o	= 0,14 . 10⁻³ A	= 0,14 . 10⁻³ A
o – – – o	= 0,19 . 10⁻³ A	
o ..... o		= 0,41 . 10⁻³ A
–.–.–.o	= 0,59 . 10⁻³ A	= 0,59 . 10⁻³ A
o– . . –o	= 1,10 . 10⁻³ A	= 1,10 . 10⁻³ A

Die Maxima der negativen Ladung, die der Faradaykäfig in Wasserstoff annahm, wenn er sich in der ersten Kathodenschicht befand, betrugen 28—43 Volt.

Der Knick, den die Kurven aufweisen, die aufgenommen wurden, wenn der Käfig seine Oeffnung der Kathode zukehrte, liegt unmittelbar nach der Grenze des dunklen Kathodenraumes und der negativen Glimmschicht. Bei hohen Drucken ist der Knick geringer, ebenso bei größeren Stromstärken, da in beiden Fällen die Ausdehnung des dunklen Kathodenraumes in das Rohr hinein geringer wird.

Vergleichen wir die Messungen in Luft und in Wasserstoff mit einander, so finden wir qualitativ keinen Unterschied. Auch bei diesen Messungen ist nur ein Unterschied in quantitativer Beziehung festzustellen. Die Ladungen, die der Käfig in Wasserstoff annimmt, sind geringer als die Ladungen des Käfigs in Luft, obgleich die ersteren dem höheren Drucke entsprechend größer sein müßten.

Aus den Messungen, die bei der letzten Versuchsanordnung angestellt wurden, ergibt sich, daß in der ersten Kathodenschicht und im Crookesschen Dunkelraume negative Ionen auf die Innenelektrode des Käfigs treffen, während in der negativen Glimmschicht und im Faradayraum eine positive Zone vorhanden ist. In der positiven geschichteten Säule treffen in dem Anfange der Schichtköpfe negative Ionen auf die Innenelektrode des Käfigs, während sich zwischen den Schichten eine positive

Aufladung des Käfigs[1] findet. In der ungeschichteten positiven Säule ist durchweg eine positive Zone vorhanden.

3. Messungen mit dem Faradaykäfig, der die von der Anode nach der Kathode parallel der Achse des Rohres sich bewegenden Ionen auffing.

Ich beschreibe im folgenden die Messungen, die wiederum mit dem Faradaykäfig (Figur 2b) angestellt wurden, der seitlich eine Oeffnung hatte und unten verschlossen war. Der Käfig wurde diesmal aber so in das Entladungsrohr eingeführt, daß seine Oeffnung der Anode zugekehrt war. Er fing also die Ionen auf, die sich parallel der Achse des Rohres von der Anode nach der Kathode bewegten. Der Käfig befand sich bei den meisten Messungen ungefähr 20 mm tief im Entladungsrohr.

Ich brachte den Faradaykäfig in die verschiedenen Teile der Entladungsbahn des Glimmstromes. Der Käfig wies durchweg positive Ladungen auf. Das Maximum der Ladungen befand sich dicht vor der Grenze der ersten Kathodenschicht gegen den dunklen Kathodenraum. Nach der Kathode hin waren die Potentiale, die der Käfig annahm, geringer. Auch nach der Anode hin fiel die Ladung schnell vom Maximum auf einen geringen Wert ab. Bereits an der Grenze des dunklen Kathodenraumes gegen die negative Glimmschicht waren die Ladungen auf einen sehr geringen Wert gesunken. In der negativen Glimmschicht und im Faradayraum fand ich kleine positive Ladungen, die im Faradayraum um ein geringes stiegen. In der geschichteten positiven Säule waren die verschiedenen Querschnitte hinsichtlich der Ladungen, die der Käfig in ihnen annahm, nicht gleichwertig. Es sind gewisse Querschnitte vor anderen ausgezeichnet. Ich fand Maxima und Minima der Ladungen in der geschichteten positiven Säule. Das Maximum der Potentiale lag

1. J. J. Thomson: Phil. Mag. 18 [6], S. 441—451 (1909).

zwischen den Schichten, während das Minimum der Ladungen sich kurz vor den Schichtköpfen auf der Kathodenseite befand. In der ungeschichteten positiven Säule waren natürlich keine Maxima und Minima vorhanden, doch stieg die durchweg positive Ladung etwas nach der Anode hin an.

Die Ladungen des Faradaykäfigs nahmen bei konstantem Drucke mit der Stromstärke zu. Bei konstanter Stromstärke wurden die Ladungen mit wachsendem Drucke geringer.

Die Figuren 16—21 veranschaulichen die bei den Messungen in Luft und Wasserstoff gefundenen Resultate. Der senkrechte Strich in den Kurven bedeutet die Grenze des jeweiligen dunklen Kathodenraumes. Die Kurven in den Figuren 16—18 sind in Luft aufgenommen. Die einzelnen Messungsreihen in der Figur 16 wurden bei verschiedenen Stromstärken bei konstantem Drucke aufgenommen. Ueber die Größenverhältnisse der Drucke und der Stromstärken, die während der Messungen herrschten, gibt Tabelle 13 Aufschluß.

Tabelle 13.

	Figur 16 a $p = 0{,}058$ mm	Figur 16 b $p = 0{,}108$ mm	Figur 16 c $p = 0{,}165$ mm	Figur 16 d $p = 0{,}22$ mm
i für o——— —o		$=0{,}12.10^{-3}$A	$=0{,}16.10^{-3}$A	
o— — —o		$=0{,}19.10^{-3}$A		$=0{,}19.10^{-3}$A
o ..... o			$=0{,}34.10^{-3}$A	$=0{,}34.10^{-3}$A
o —.—.—.o	$=0{,}47.10^{-3}$A	$=0{,}47.10^{-3}$A	$=0{,}47.10^{-3}$A	$=0{,}47.10^{-3}$A
o — — . . o	$=0{,}74.10^{-3}$A	$=0{,}74.10^{-3}$A	$=0{,}74.10^{-3}$A	$=0{,}74.10^{-3}$A
o — . . — o		$=1{,}06.10^{-3}$A	$=1{,}06.10^{-3}$A	$=1{,}06.10^{-3}$A

Die Messungsreihen in der Figur 17 sind bei verschiedenen Drucken bei konstanter Stromstärke aufgenommen worden. Die Werte der Stromstärken und Drucke finden sich in Tabelle 14.

Tabelle 14.

	Figur 17 a $i = 0{,}12 . 10^{-3}$ A	Figur 17 b $i = 0{,}47 . 10^{-3}$ A	Figur 17 c $i = 0{,}74 . 10^{-3}$ A	Figur 17 d $i = 1{,}06 . 10^{-3}$ A
p für o———o		= 0,058 mm	= 0,058 mm	
o — — — o			= 0,09 mm	
o . . . . . o	= 0,108 mm	= 0,108 mm	= 0,108 mm	= 0,108 mm
o —.—.—. o		= 0,13 mm	= 0,13 mm	= 0,13 mm
o — — . . o		= 0,165 mm		
o — . . — o	= 0,22 mm	= 0,22 mm	= 0,22 mm	= 0,22 mm

In der Figur 18 sind in der ungeschichteten und geschichteten positiven Säule aufgenommene Kurven dargestellt. Tab. 15 gibt die Werte der Drucke und Stromstärken an.

Tabelle 15.

	Figur 18 a $i = 0{,}19 . 10^{-3}$ A	Figur 18 b $i = 0{,}47 . 10^{-3}$ A	Figur 18 c $i = 1{,}06 . 10^{-3}$ A
p für o———o	= 0,108 mm	= 0,108 mm	= 0,108 mm
o — — — o	= 0,13 mm	= 0,13 mm	= 0,13 mm

Bei den in Luft angestellten Versuchen betrugen die Maxima der positiven Ladung in der Kathodenschicht 35—128 Volt.

Die Kurven in den Figuren 19—21 sind in Wasserstoff aufgenommen worden. Die Messungsreihen in der Figur 19 zeigen die Abhängigkeit der Ladungen des Faradaykäfigs von der Stromstärke bei konstant gehaltenem Drucke. Die Werte der Drucke und Stromstärken gibt Tabelle 16 an.

Tabelle 16.

	Figur 19 a p = 0,34 mm	Figur 19 b p = 0,495 mm	Figur 19 c p = 0,635 mm
i für o———o		$= 0{,}14 . 10^{-3}$ A	
o— — —o	$= 0{,}19 . 10^{-3}$ A		$= 0{,}19 . 10^{-3}$ A
o..... .....o	$= 0{,}41 . 10^{-3}$ A	$= 0{,}41 . 10^{-3}$ A	$= 0{,}41 . 10^{-3}$ A
o— . — .o	$= 0{,}59 . 10^{-3}$ A		
o— — . .o		$= 0{,}95 . 10^{-3}$ A	
o— . . —o		$= 1{,}10 . 10^{-3}$ A	$= 1{,}10 . 10^{-3}$ A

Die Figur 20 gibt ein Bild von der Abhängigkeit der Ladungen des Käfigs von dem Drucke bei konstant gehaltenem Strome. Aus Tabelle 17 ersieht man die bei den Messungen benutzten Stromstärken und Drucke.

Tabelle 17.

	Figur 20 a $i = 0{,}14 \cdot 10^{-3}$ A	Figur 20 b $i = 0{,}41 \cdot 10^{-3}$ A	Figur 20 c $i = 0{,}95 \cdot 10^{-3}$ A	Figur 20 d $i = 1{,}10 \cdot 10^{-3}$ A
p für o———o		= 0,34 mm		
o — — — o	= 0,43 mm		= 0,43 mm	= 0,43 mm
o . . . . . o	= 0,495 mm	= 0,495 mm	= 0,495 mm	= 0,495 mm
o —.—.— o	= 0,555 mm		= 0,555 mm	
o — — . . o		= 0,635 mm		= 0,635 mm

In der Figur 21 sind die in der ungeschichteten und geschichteten positiven Säule aufgenommenen Kurven abgebildet. Die Werte der Stromstärken und Drucke stehen in Tabelle 18.

Tabelle 18.

	Figur 21 a $i = 0{,}14 \cdot 10^{-3}$ A	Figur 21 c $i = 0{,}95 \cdot 10^{-3}$ A	Figur 21 c $i = 1{,}10 \cdot 10^{-3}$ A
p für o———o	= 0,43 mm		= 0,43 mm
o — — — o	= 0,495 mm	= 0,495 mm	= 0,495 mm
o . . , ... o		= 0,555 mm	

Die Maxima der positiven Ladungen in der ersten Kathodenschicht lagen bei den in Wasserstoff angestellten Versuchen zwischen 25 und 72 Volt.

Auch bei diesen Messungen, die mit dem nach der Anode offenen Faradaykäfige angestellt wurden, fanden sich in Luft und Wasserstoff qualitativ keine Unterschiede. Die Potentiale jedoch, die der Käfig in Wasserstoff annahm, hatten eine geringere Größe als die Potentiale, die der Käfig aufwies, wenn sich im Entladungsrohr Luft befand. Ein Grund für diese Diffe-

renz in der Größe der Potentiale bei den in Luft und Wasserstoff vorgenommenen Messungen ist darin zu suchen, daß die Messungen in Wasserstoff bei höheren Drucken vorgenommen werden mußten, um gute Schichtung zu erhalten. Und, wie durch die Versuche bewiesen, nimmt mit wachsendem Drucke die Größe der Potentiale ab, wenn der Käfig seine Oeffnung der Anode zukehrt.

Aus den angestellten Versuchen ergibt sich, daß in allen Teilen der Entladungsbahn positive Ionen vorhanden sind. Auch in der negativen Glimmschicht befinden sich bereits positive Ionen, die sich parallel der Achse des Entladungsrohres bewegen. Für diese Annahme spricht die, wenn auch geringe, so doch vorhandene positive Aufladung des Faradaykäfigs in der negativen Glimmschicht.

Vergleichen wir die Ladungen, die der Käfig annimmt, wenn er nach der Kathode offen ist, mit den Ladungen, die der Käfig besitzt, wenn er nach der Anode offen ist, so erkennen wir, daß die Ladungen bedeutend geringer sind, wenn der Käfig seine Oeffnung der Kathode zuwendet.

IV.

Deutung der Versuchsergebnisse

1. Ist der Faradaykäfig, der die senkrecht zur Achse des Entladungsrohres sich bewegenden Ionen auffängt, in das Rohr eingeführt, so sind die Ladungen, die er ganz nahe an der Kathode und an der Grenze des dunklen Kathodenraumes gegen die negative Glimmschicht annimmt, positive, während im Crookesschen Dunkelraume sich eine negative Zone findet. Dieses Resultat stimmt mit den Versuchen von A. Wehnelt[1] über die freie Elektrizität im dunklen Kathodenraum und mit den von E. Goldstein[2] an der Außenwand zylindrischer Röhren gefundenen Ladungen überein.

1. A. Wehnelt: Ann. d. Phys. 10, S. 570—573 (1903).
2. E. Goldstein: Verh. d. D. phys. Ges. 3, S. 194—195 (1901).

2. Ist die Oeffnung des Käfigs der Kathode zugekehrt, fängt er also die sich parallel zur Achse des Entladungsrohres von der Kathode nach der Anode bewegenden Ionen auf, so sind die Ladungen in der ersten Kathodenschicht und im Crookesschen Dunkelraume negative. In unmittelbarer Nähe der Kathode findet ein Abfall der negativen Ladung statt. Der Käfig wirft auf die Kathode einen Schatten, der mit wachsender Annäherung des Käfigs an die Kathode breiter wird. Der Käfig hindert einen Teil der nach der Kathode hin wandernden positiven Ionen, die Kathode zu erreichen. Es findet somit in der an der Kathode gelegenen ersten Ionisierungspartie eine Abnahme der Ionisation, eine Abnahme in der Anzahl der entstehenden negativen Ionen bzw. Elektronen statt. Infolgedessen wird die negative Ladung des Käfigs geringer. Mit wachsender Stromstärke und mit wachsendem Drucke wächst die Ionisation und somit die negative Aufladung des Käfigs.

Die negativen Potentiale, die der Käfig annimmt, wenn er nach der Kathode offen ist, sind geringer als die positiven Potentiale, die der Käfig annimmt, wenn er nach der Anode offen ist. Die Erklärung für diese Tatsache ist wohl in dem stärkeren Ionisierungsvermögen der Kathodenstrahlen zu suchen. Wenn sie in den Faradaykäfig treffen, haben sie bereits große Geschwindigkeit erlangt, da sie schon einen großen Teil ihres Potentialgefälles durchlaufen haben.

In der geschichteten positiven Säule zeigt sich zwischen den Schichten eine positive Aufladung des Käfigs, ganz kurz vor den Schichtköpfen dagegen eine negative. Dieses ist ein Beweis dafür, daß die Elektronen kurz vor den Schichtköpfen eine so große Geschwindigkeit erreicht haben, daß sie wieder zu ionisieren vermögen[1].

3. Ist der Faradaykäfig nach der Anode offen, fängt er also die sich parallel zur Achse des Entladungsrohres von der Anode nach der Kathode bewegenden Ionen auf, so sind die Ladungen,

1. E. Goldstein: Wied. Ann. 11, S. 831 (1880).

die er annimmt, in allen Teilen der Entladungsbahn positive. Es sind also in allen Querschnitten der Entladung parallel der Achse des Entladungsrohres nach der Kathode hin sich bewegende positive Ionen vorhanden, schon, wenn auch mit geringer Geschwindigkeit, in der negativen Glimmschicht. Rückt der Faradaykäfig weiter an die Kathode heran, so nehmen die positiven Aufladungen des Käfigs zu, um ungefähr an der Grenze der ersten Kathodenschicht und des dunklen Kathodenraumes ihr Maximum zu erreichen. Dieses Anwachsen der Ladungen erklärt sich aus dem Potentialverlaufe am Ende des dunklen Kathodenraumes. Nähert sich der Käfig noch weiter der Kathode, so nehmen die Ladungen wieder ab. Der Grund hierfür liegt in dem folgenden Umstande. Die beiden an der Kathode liegenden Ionisierungspartieen bedingen sich gegenseitig, indem sie einander die Ionen zur Ionisierung liefern. Wenn man an einer Stelle das Zustandekommen der einen Ionisierungspartie verhindert, so verhindert man damit zu gleicher Zeit das Entstehen des ihr entsprechenden Stückes der anderen. Kommt der Käfig in die erste Schicht, so stört er die Entladung sehr. Er hält die positiven Ionen von der Kathode fern, es entsteht auf der Kathode ein breiter Schatten. In dem ganzen Schattenraume ist die Kathode frei vom Strom[1], d. h. es gehen von ihr keine Kathodenstrahlen aus. Der Käfig schirmt also einen Teil der Kathodenstrahlen ab. Diese wiederum können im Glimmlicht an der Stelle vor dem Käfig keine positiven Ionen erzeugen. Infolgedessen sinkt die positive Aufladung des Faradaykäfigs und zwar um so mehr, je mehr sich der Käfig der Kathode nähert, weil der Schatten, den der Käfig auf die Kathode wirft, mit zunehmender Annäherung an Größe wächst, also ein größerer Teil der Kathodenstrahlen abgeschirmt wird. Mit wachsender Stromstärke nehmen die Ladungen des Käfigs zu. Denn mit wachsender Stromstärke wächst bei konstantem Drucke die Ionisation. Mit wachsendem Drucke aber nehmen

1. A. Wehnelt: Phys. Ztschr. 2, S. 336 (1901).

die Aufladungen des Käfigs ab. Diese Erscheinung hat ihre Ursache in dem folgenden Umstande. Die negativen Ionen, die sich von der Kathode nach der Anode hin bewegen und am Faradaykäfige vorüberkommen, stoßen auf ihrem Wege mit neutralen Gasmolekülen zusammen. Sie werden bei dem Zusammenstoß nach allen Richtungen reflektiert und gelangen daher auch in den Käfig, um hier einen Teil der positiven Ionen auf der Innenelektrode zu neutralisieren. Infolgedessen werden die Aufladungen des Käfigs verringert. Da nun mit wachsendem Drucke der Zusammenstoß zwischen negativen Ionen und neutralen Gasmolekülen häufiger erfolgt, so nehmen die Aufladungen des Faradaykäfigs um so mehr ab, je mehr der Druck wächst.

Aus diesen Ausführungen ist zu schließen, daß die positiven Ionen, die Kanalstrahlenteilchen, im ganzen Bereiche des dunkeln Kathodenraumes entstehen, die Hauptmasse aber wohl in der negativen Glimmschicht. Die positiven Ionen wandern nach der Kathode zu und erlangen nach dem Durchlaufen des Crookesschen Dunkelraumes dank des großen Spannungsgefälles genügende Geschwindigkeit, um ionisierend zu wirken. Sie rufen zum großen Teil das Leuchten in der ersten Kathodenschicht hervor.

V.

Das Resultat.

1. Fängt der Käfig die sich senkrecht zur Rohrachse bewegenden Ionen auf, so ist seine Ladung ganz dicht an der Kathode und an der Grenze des Crookesschen Dunkelraumes gegen die negative Glimmschicht positiv,

im Crookesschen Dunkelraum negativ,

im Glimmlicht, Faradayraum und in der positiven Säule positiv.

2. Fängt der Käfig die sich parallel zur Rohrachse von der Kathode nach der Anode bewegenden Ionen auf, so ist seine

Ladung in der ersten Kathodenschicht und im Crookesschen Dunkelraum negativ,

im Glimmlicht, Faradayraum und in der ungeschichteten positiven Säule positiv,

in der geschichteten positiven Säule positiv, doch dicht vor den Schichtköpfen negativ.

3. Fängt der Käfig die sich parallel zur Achse des Entladungsrohres von der Anode nach der Kathode bewegenden Ionen auf, so ist seine Ladung im ganzen Rohre positiv.

Die gefundenen Resultate bestätigen und ergänzen die von A. Wehnelt[1] über die Ionenbewegung in der Glimmlichtentladung angestellten, als vorläufige bezeichneten Messungen.

1. A. Wehnelt: Erlanger Berichte 42, S. 89—96 (1910).

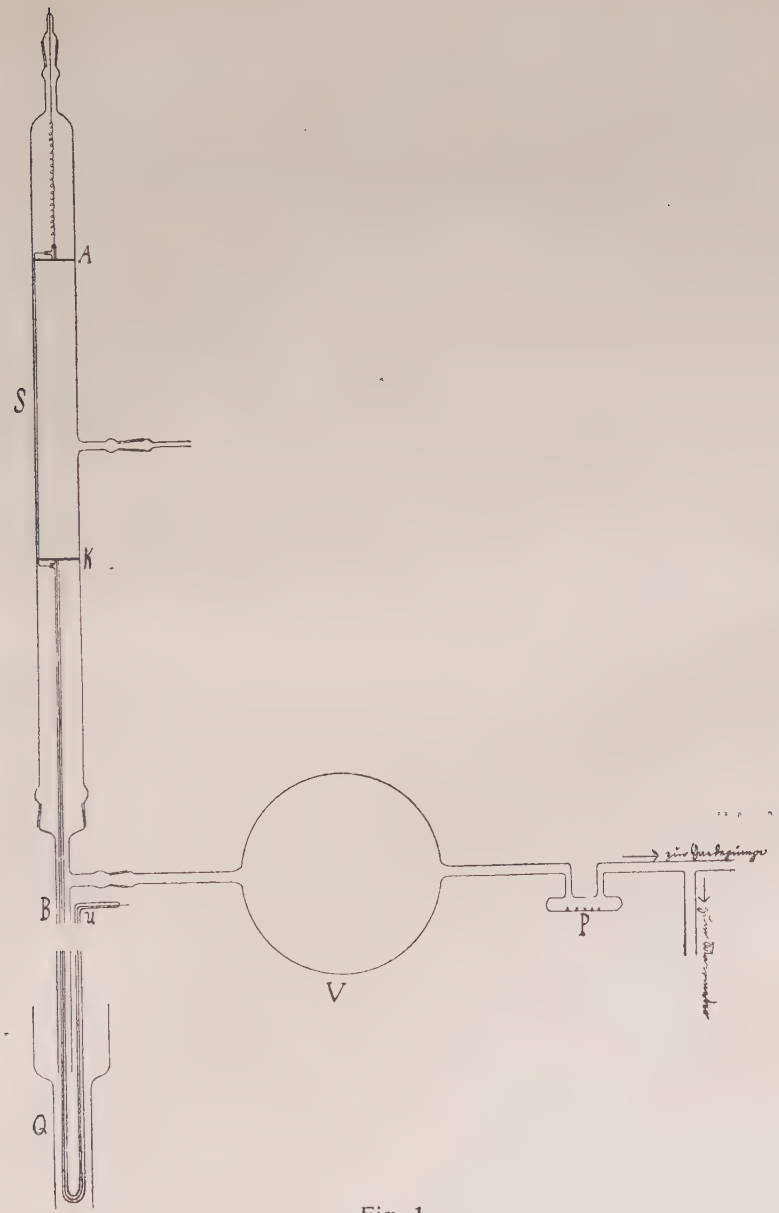


Fig. 1.
$^1/_{10}$ natürlicher Größe.

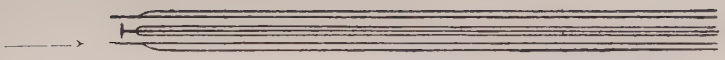


Fig. 2 a

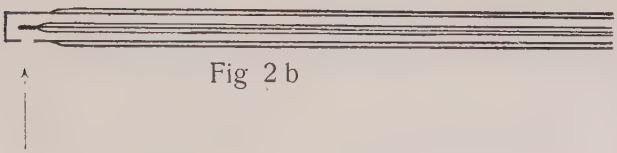


Fig 2 b

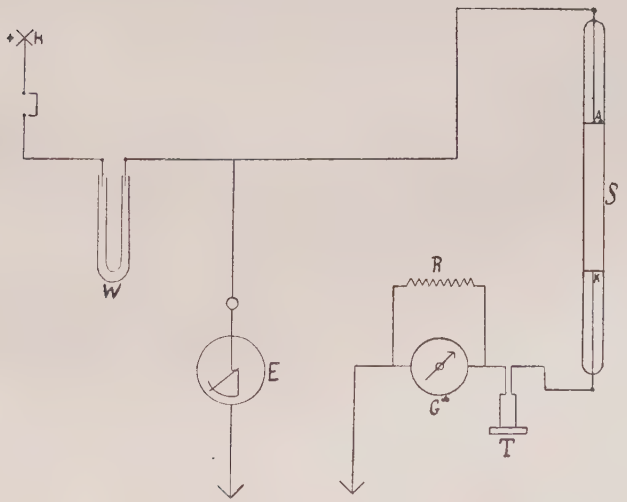


Fig. 3

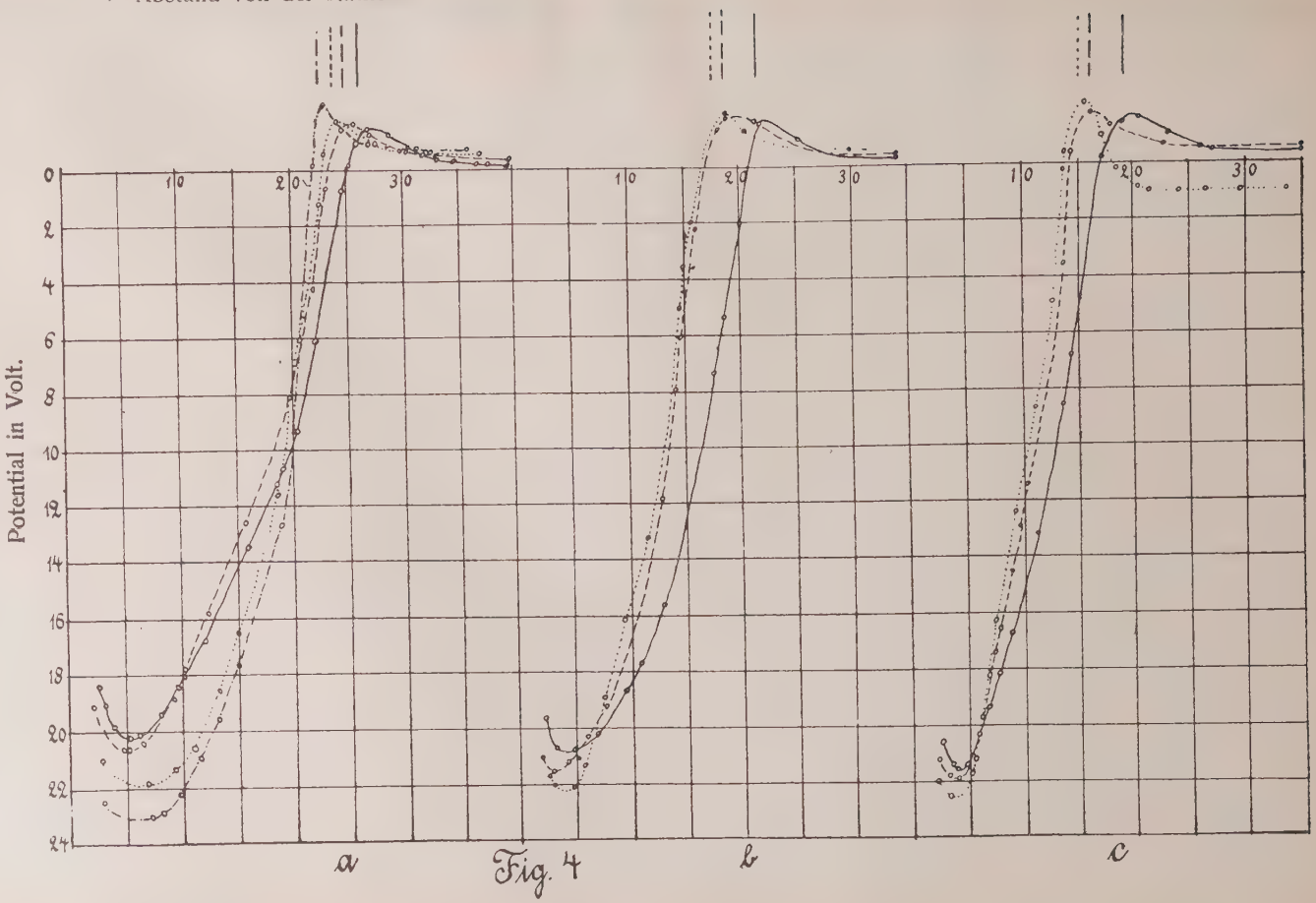
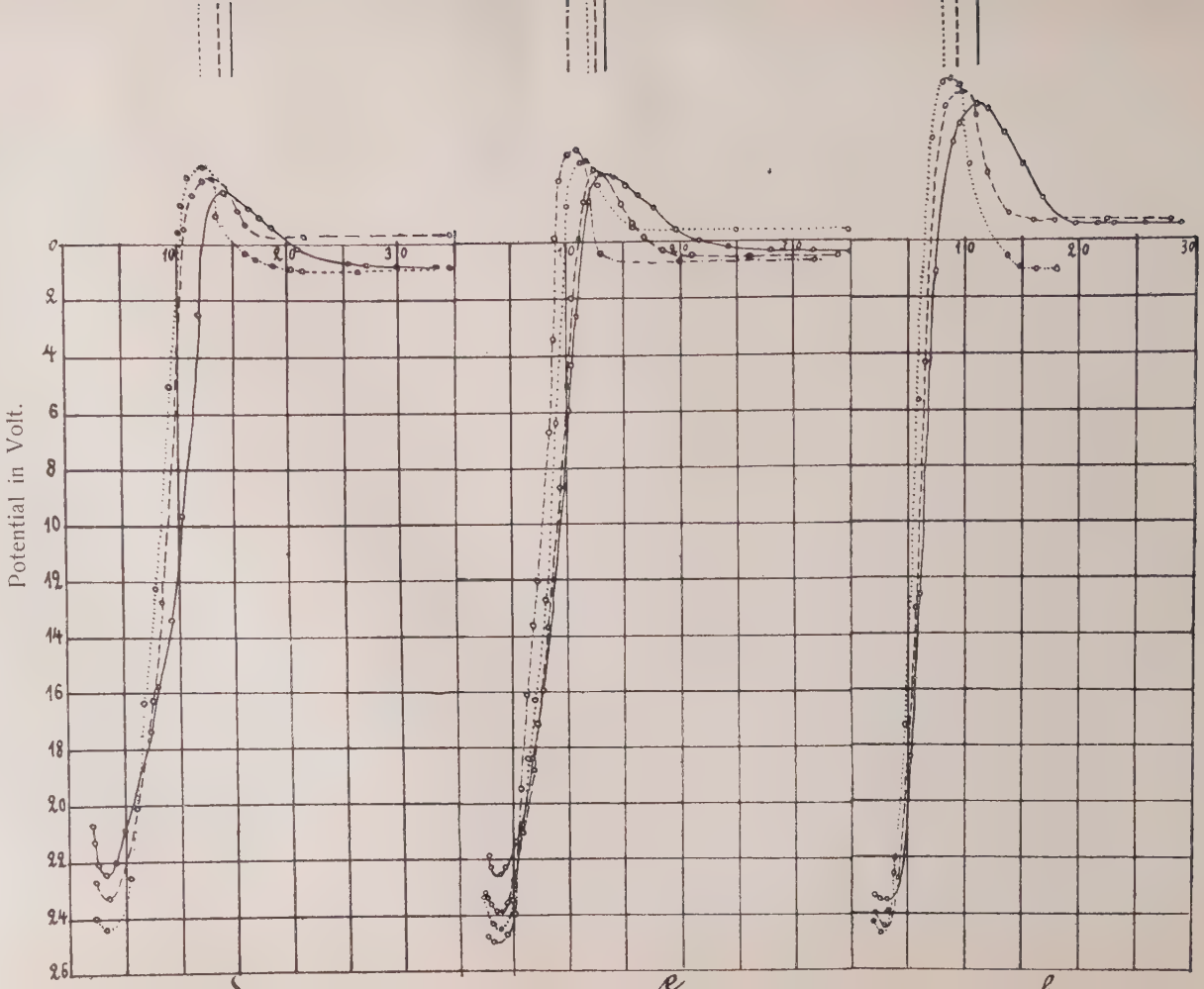

Abstand von der Kathode in mm.
Potential in Volt.
0
2
4
6
8
10
12
14
16
18
20
22
24
10
20
30
a
b
c

Fig. 4


Potential in Volt.
0
2
4
6
8
10
12
14
16
18
20
22
24
26
10
20
30
10
20
30
10
20
30

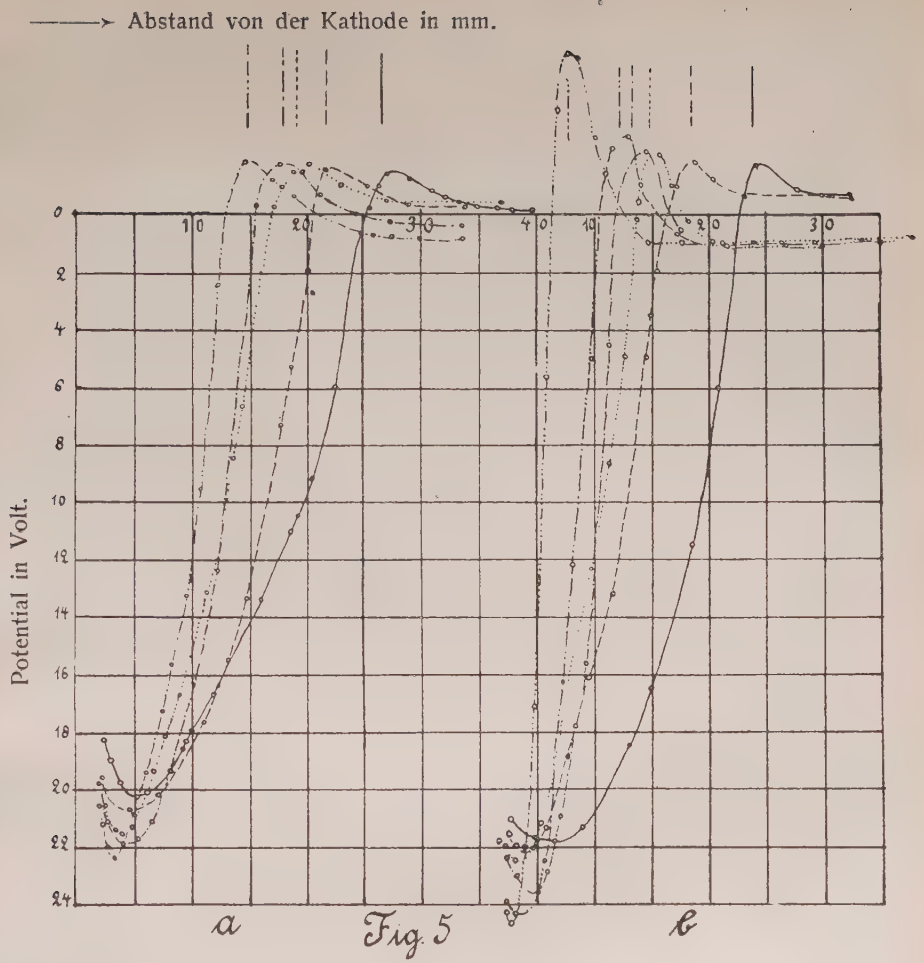

Abstand von der Kathode in mm.
Potential in Volt.
0
2
4
6
8
10
12
14
16
18
20
22
24
10
20
30
40
10
20
30
a
b

Fig. 5

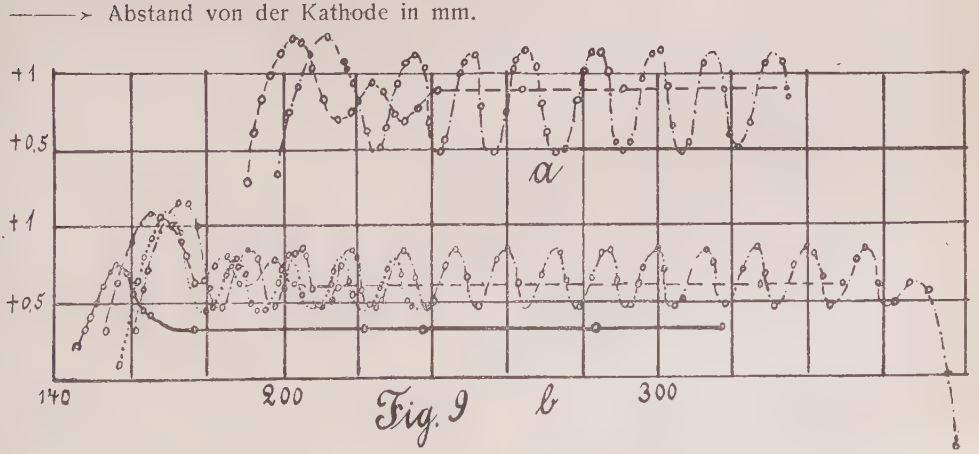

Abstand von der Kathode in mm.
Potential in Volt.
+1
+0,5
+1
+0,5
a
b
140
200
300

Fig. 9

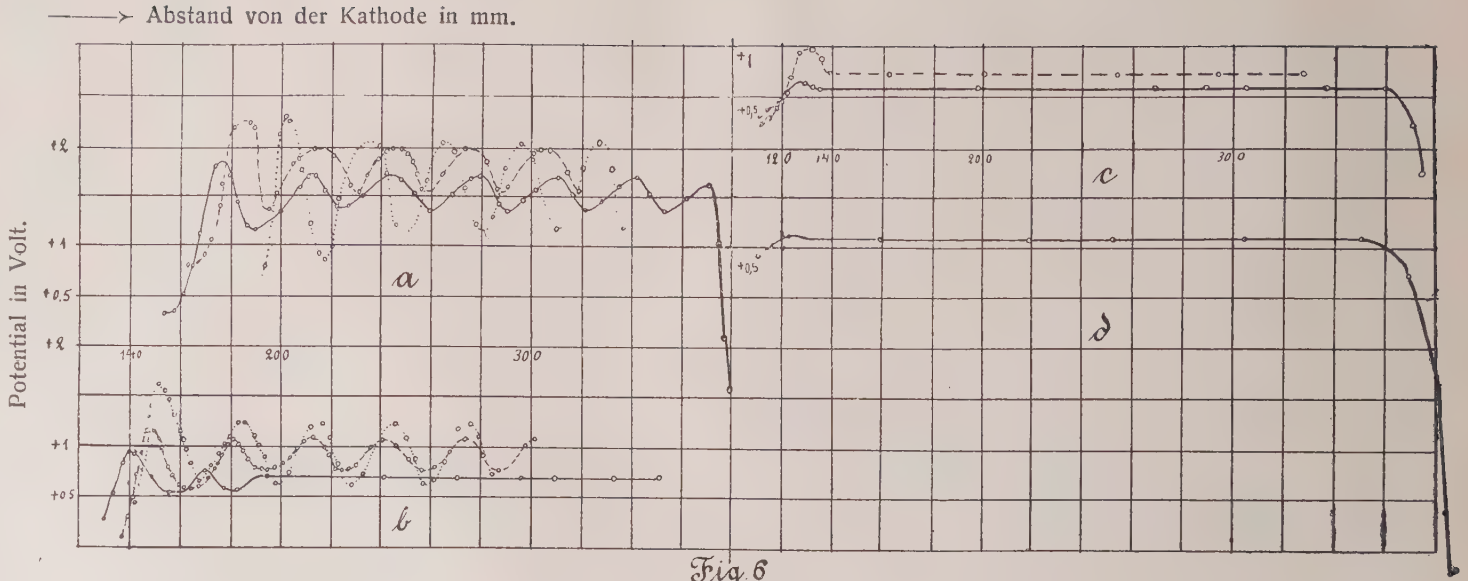

Abstand von der Kathode in mm.
Potential in Volt.
+2
+1
+0.5
+2
+1
+0.5
140
200
300
a
b
c
d

Fig 6

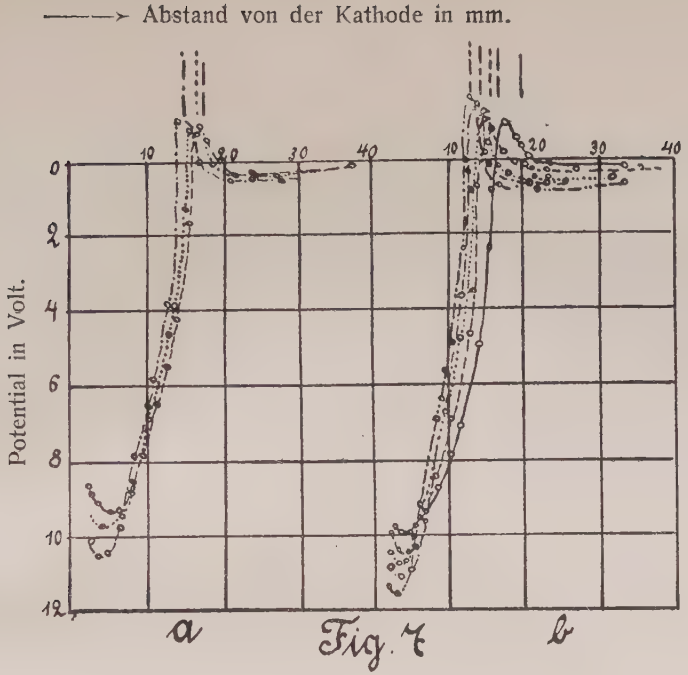

Abstand von der Kathode in mm.
Potential in Volt.
0
2
4
6
8
10
12
10
20
30
40
a
b

Fig. 7

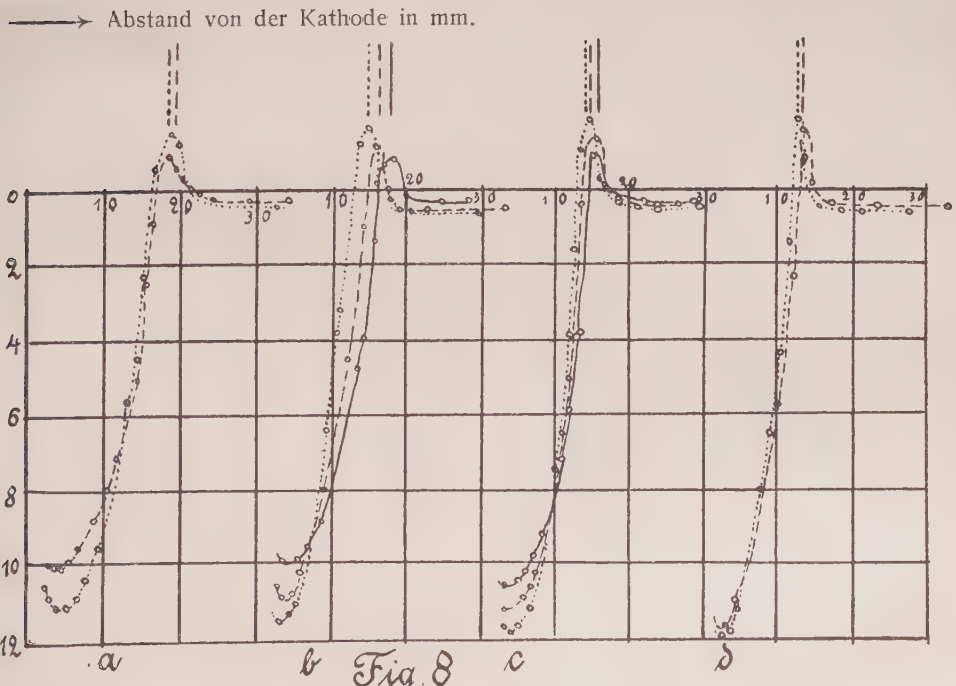

Abstand von der Kathode in mm.
0
2
4
6
8
10
12
a
b
c
d

Fig. 8

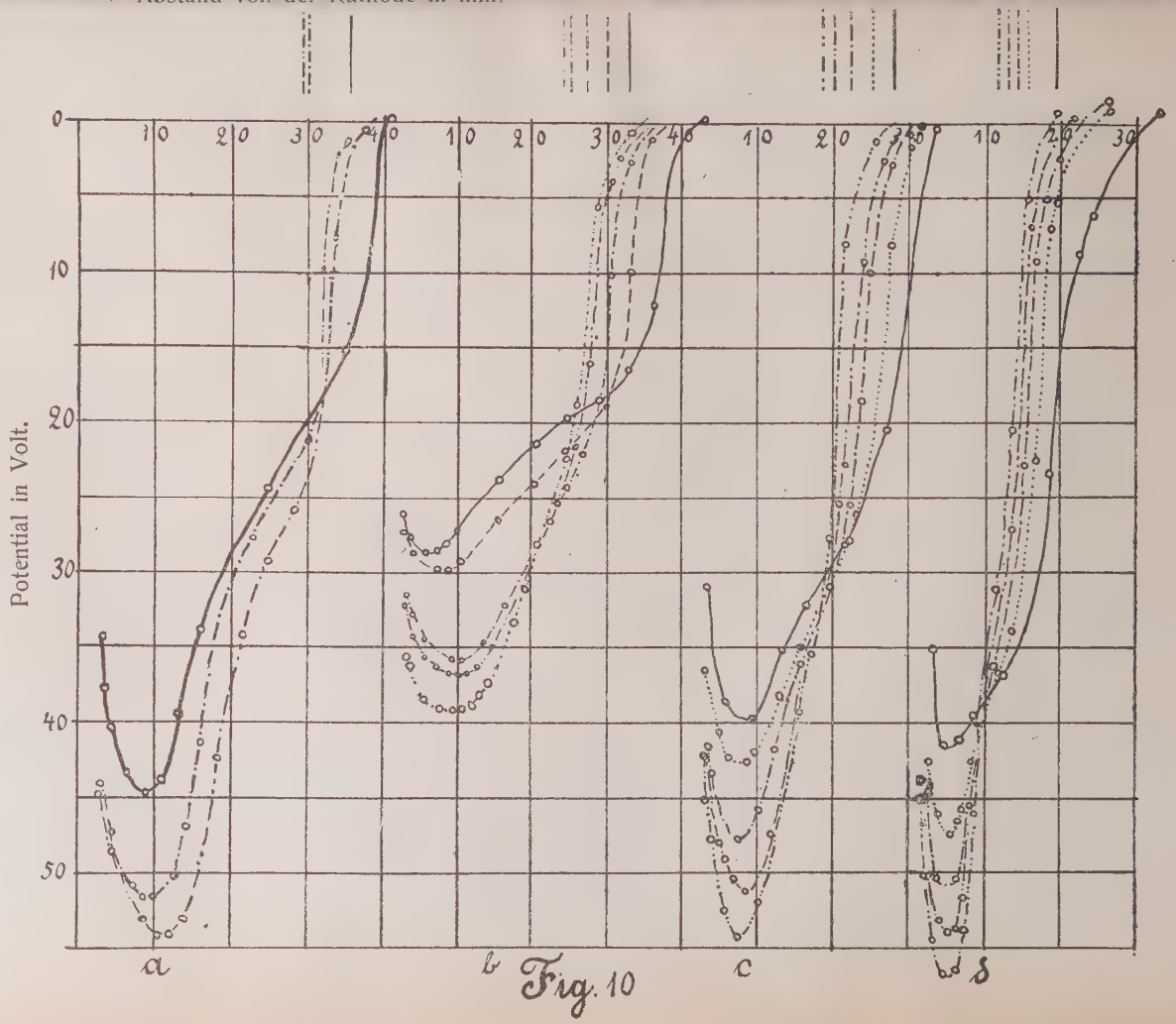

——→ Abstand von der Kathode in mm.
Potential in Volt.
0
10
20
30
40
50
a
b
c
d

Fig. 10

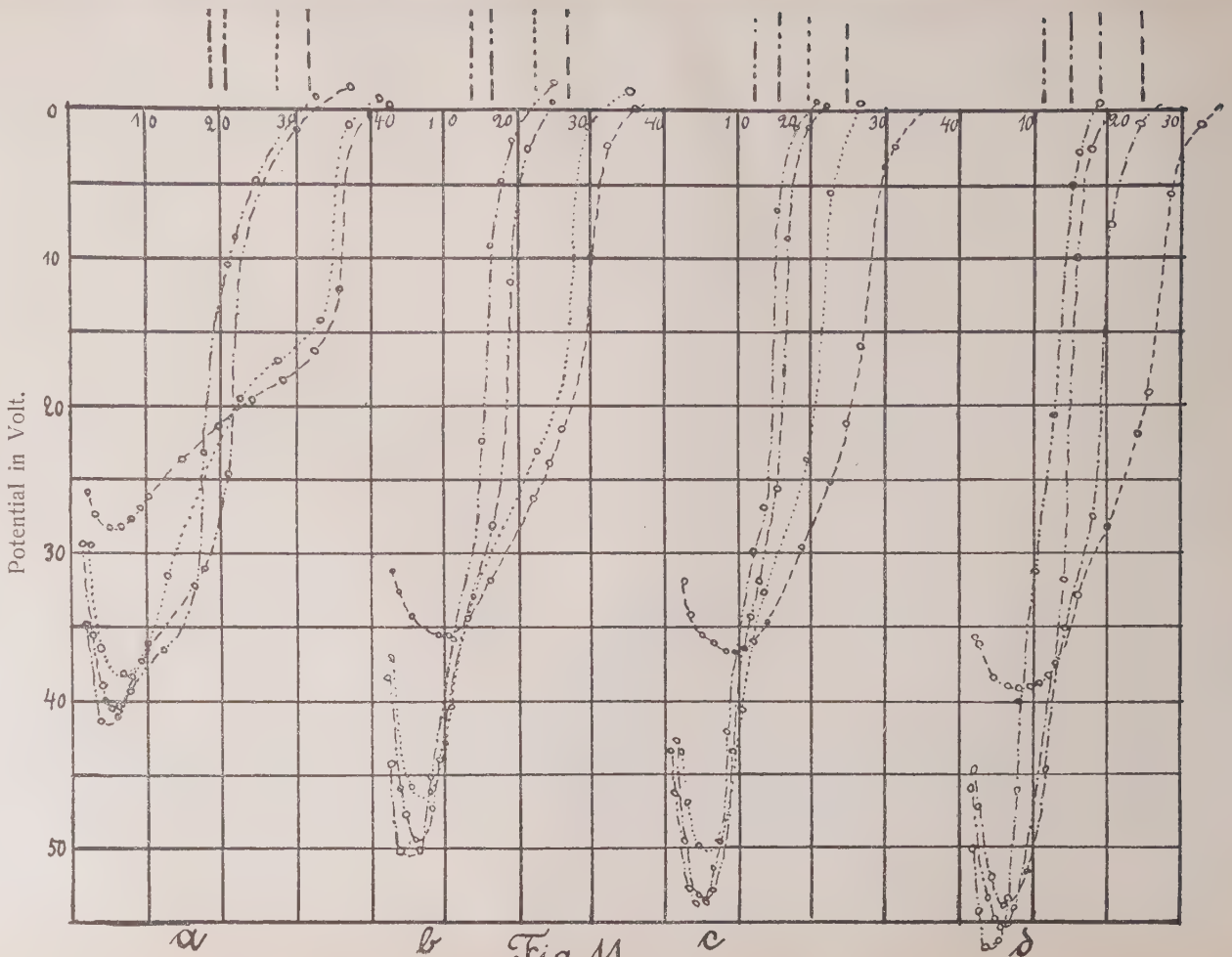

——— ➢ Abstand von der Kathode in mm.
Potential in Volt.
0
10
20
30
40
50
a
b
c
d

Fig. 11

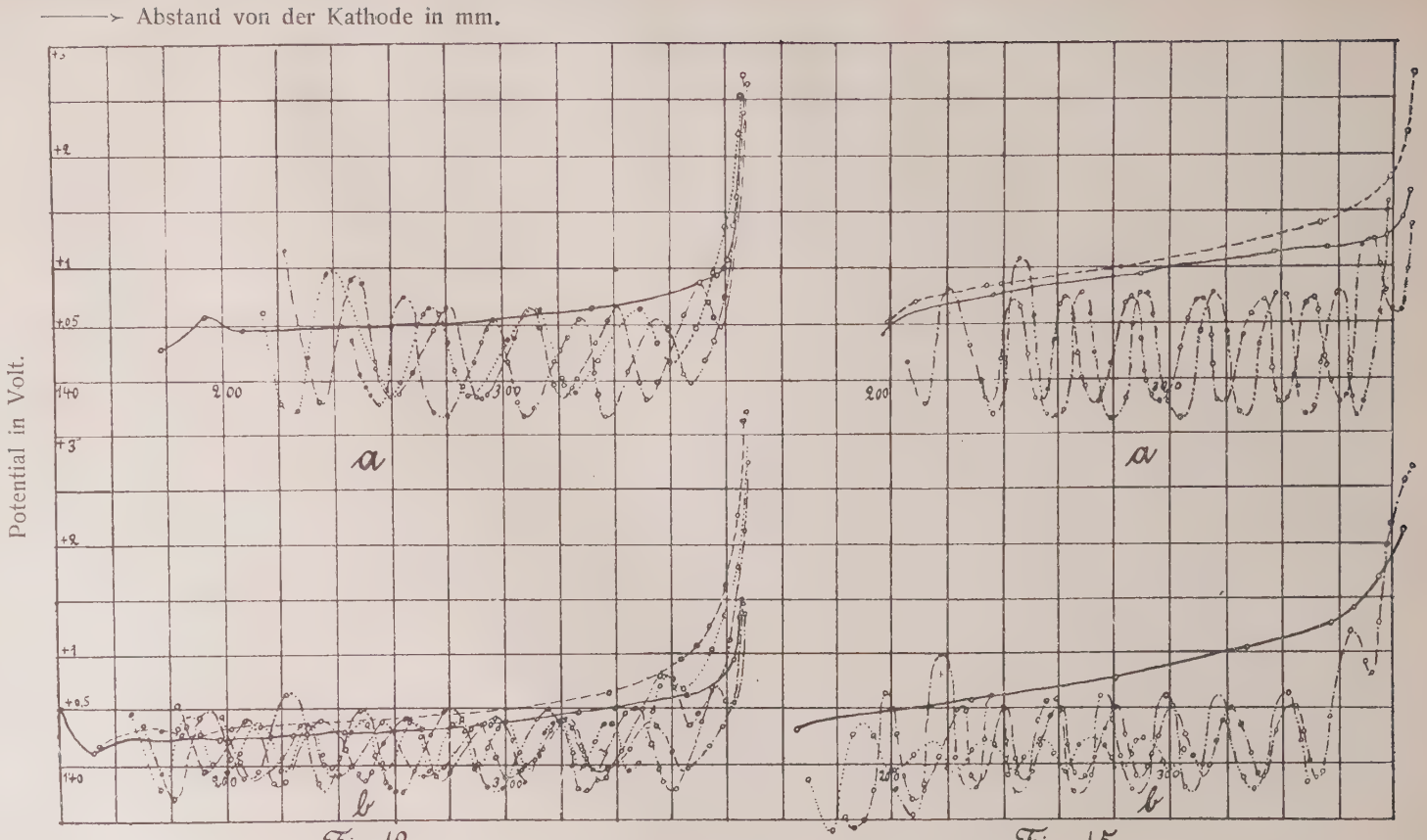

Abstand von der Kathode in mm.
Potential in Volt.
+2
+1
+0.5
1.40
+3
2.00
3.00
a
b

Fig. 12

Fig. 15

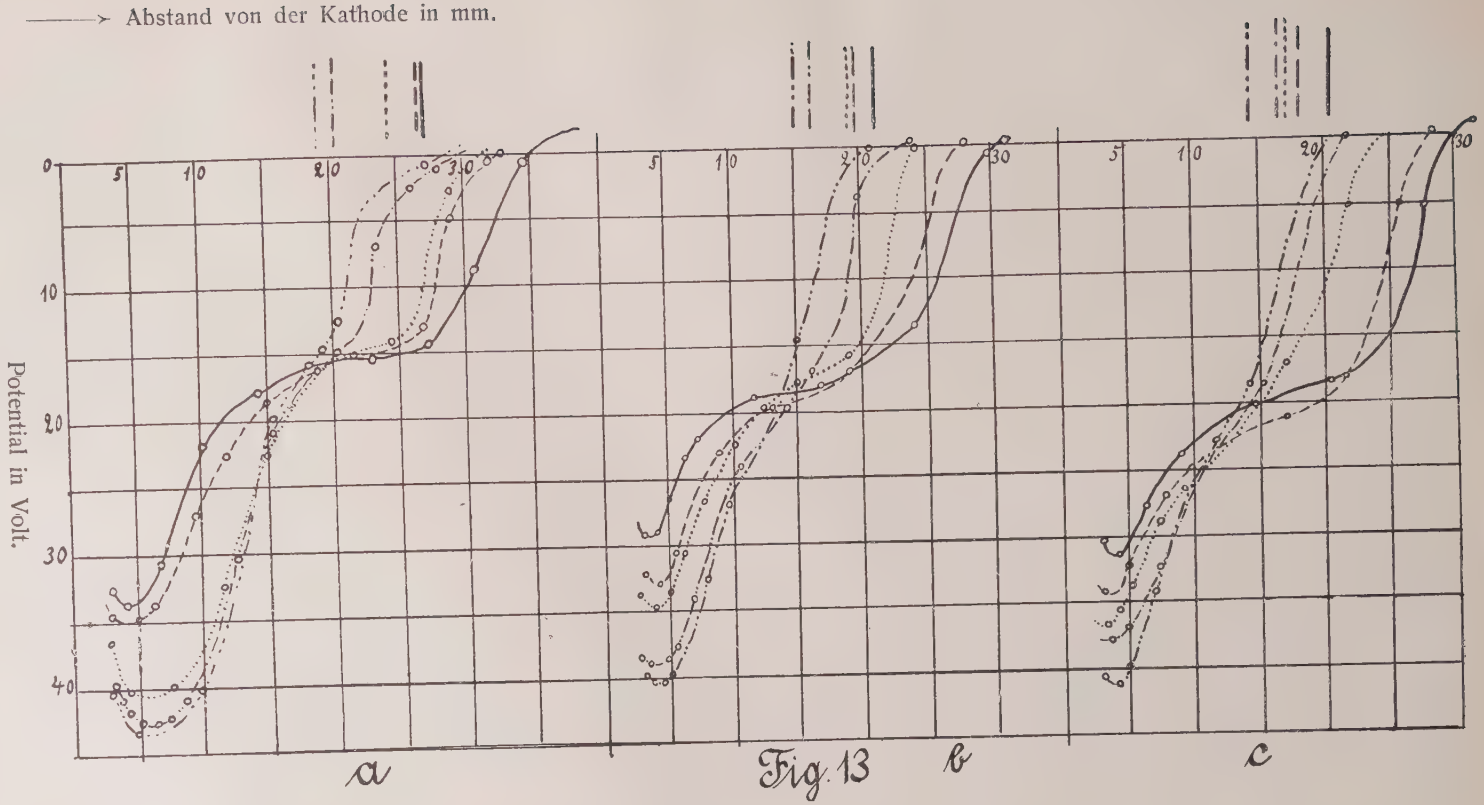

Abstand von der Kathode in mm.
Potential in Volt.
0
10
20
30
40
5
10
20
30
a
b
c

Fig. 13

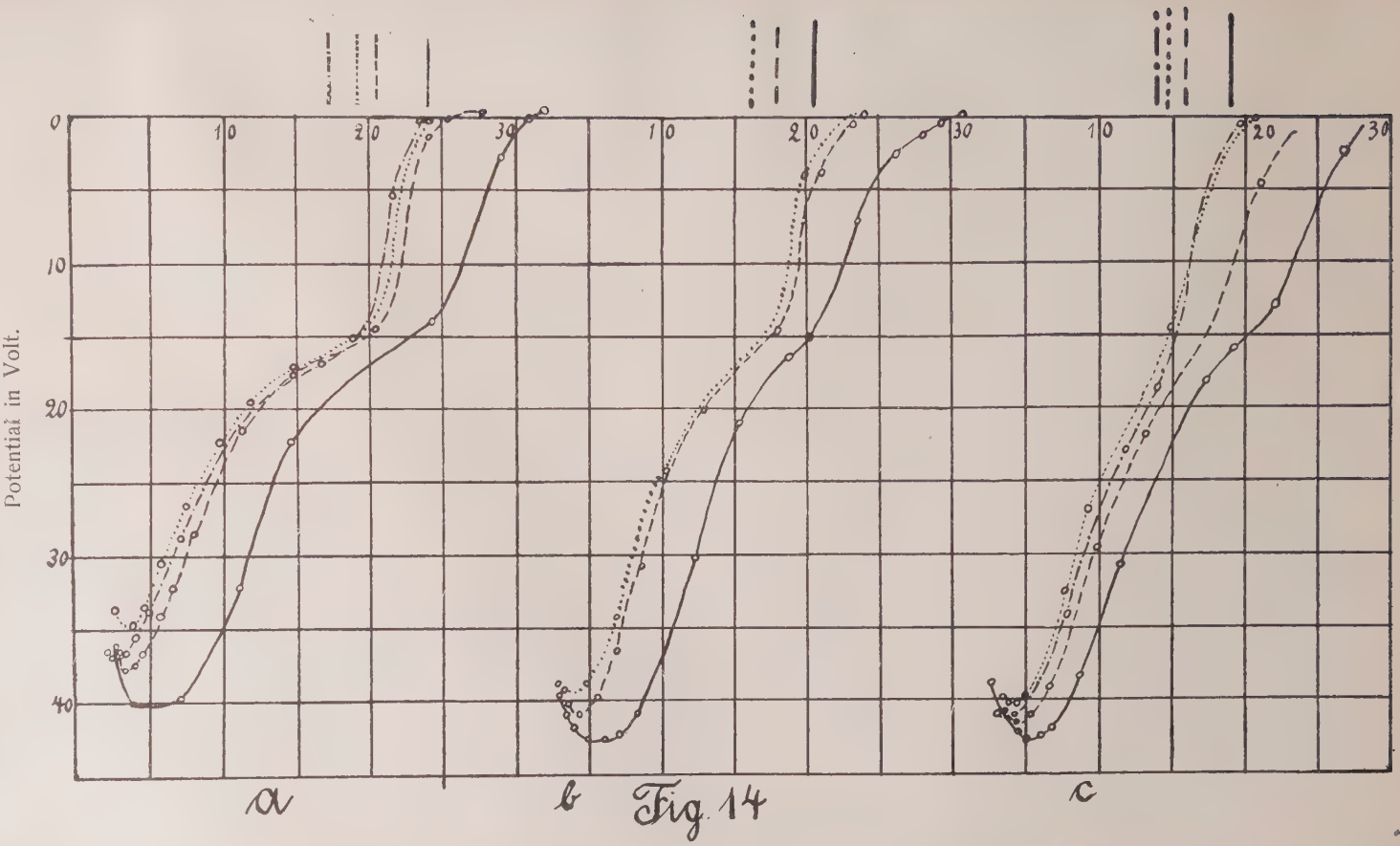

——➤ Abstand von der Kathode in mm.
Potential in Volt.
0
10
20
30
40
10
20
30
a
b
c

Fig. 14

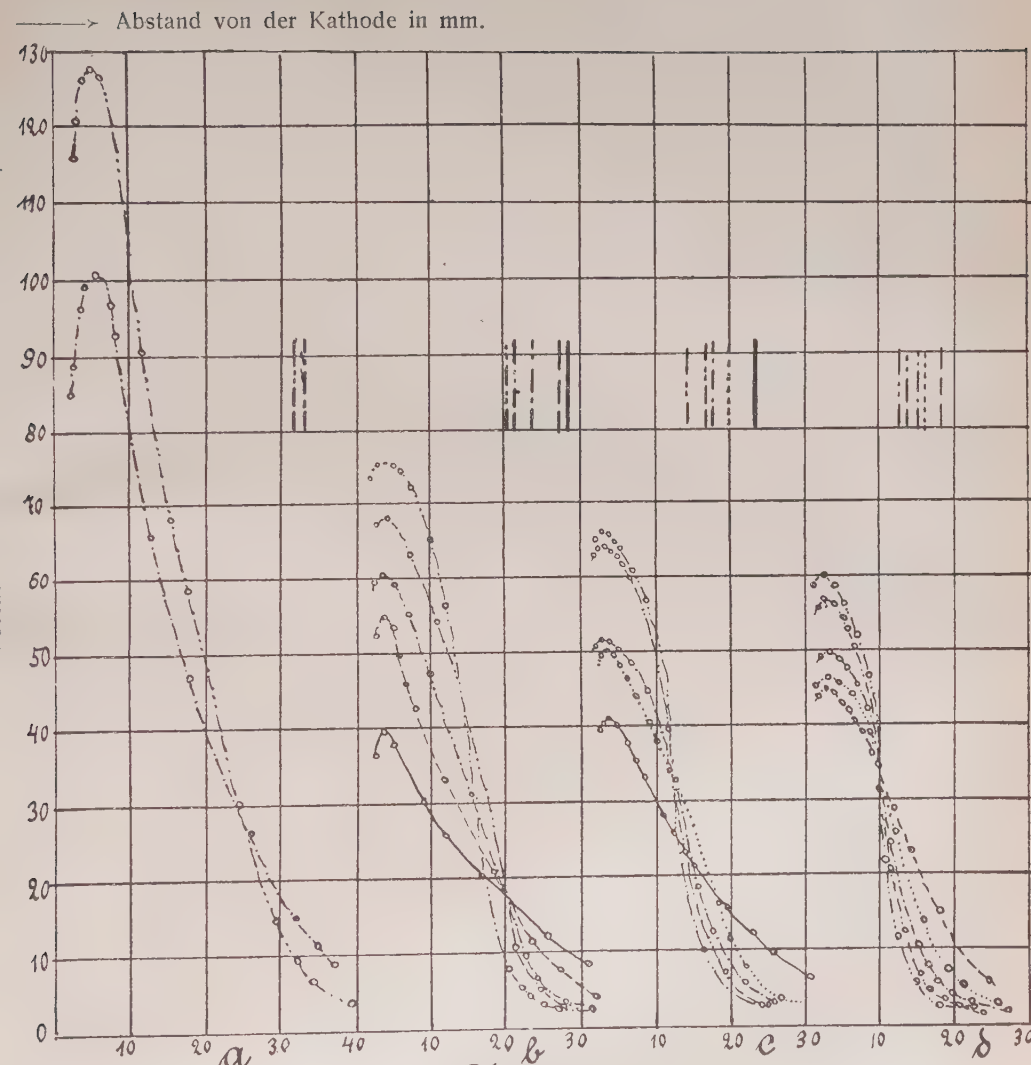
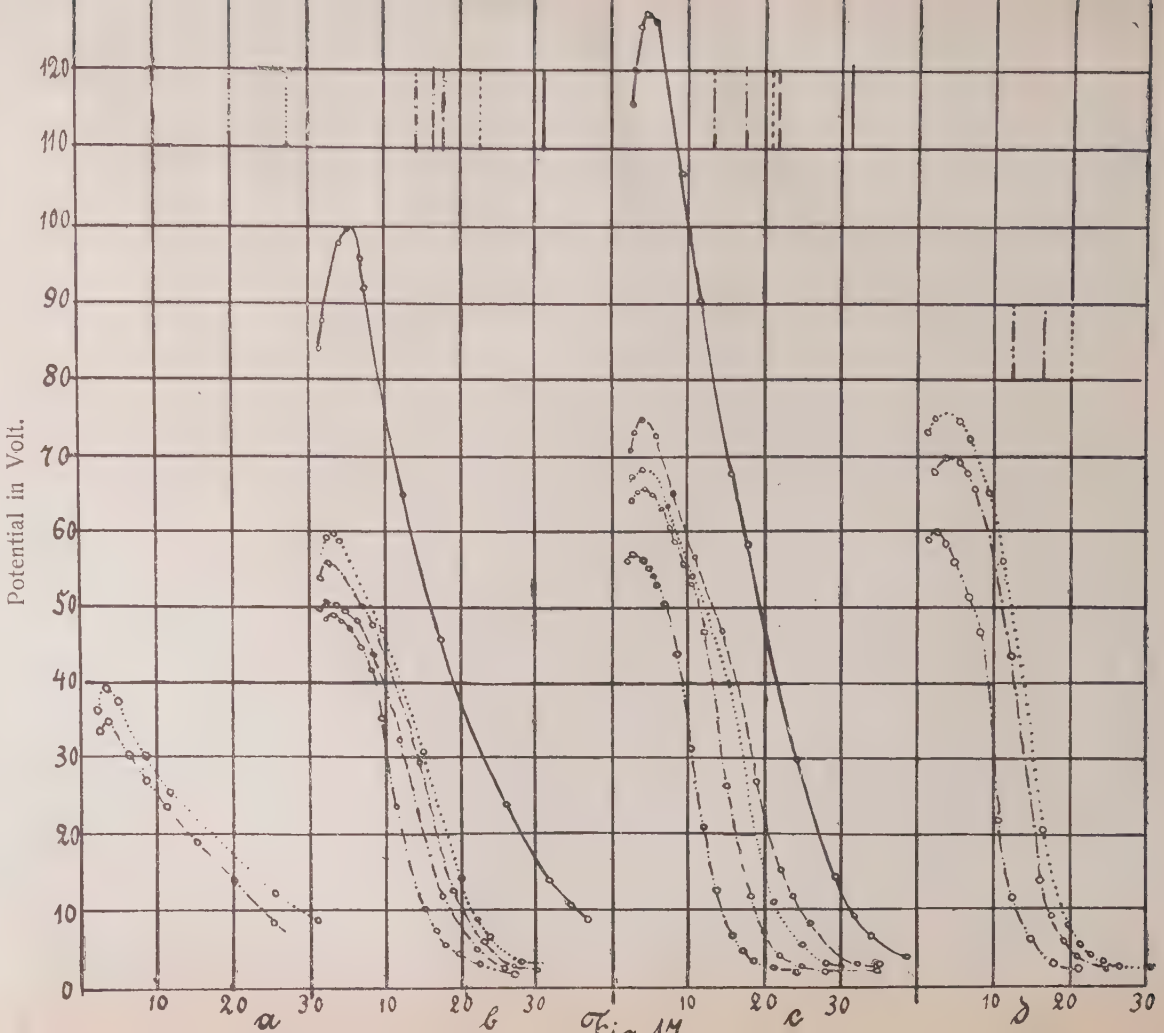

Abstand von der Kathode in mm.
130
120
110
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
10
20
30
40
a
b
c
d

Fig. 16


Potential in Volt.
120
110
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
10
20
30
a
b
c
d

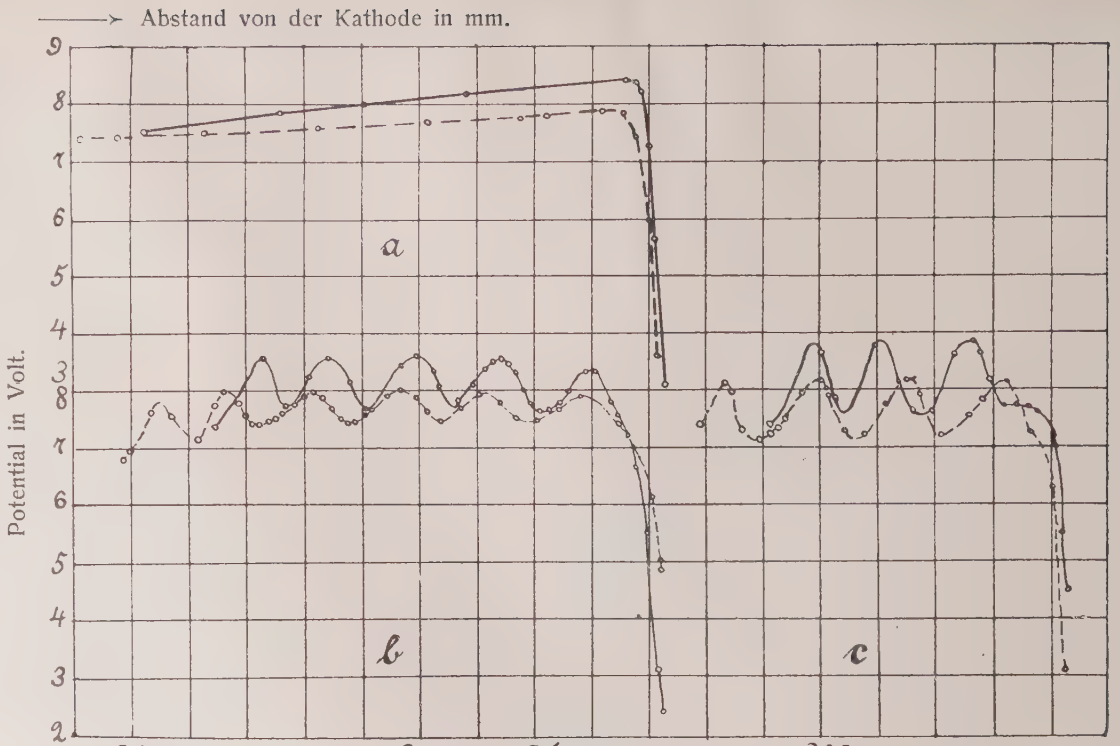

Abstand von der Kathode in mm.
Potential in Volt.
9
8
7
6
5
4
3
8
7
6
5
4
3
2
a
b
c
200
300
300

Fig. 18

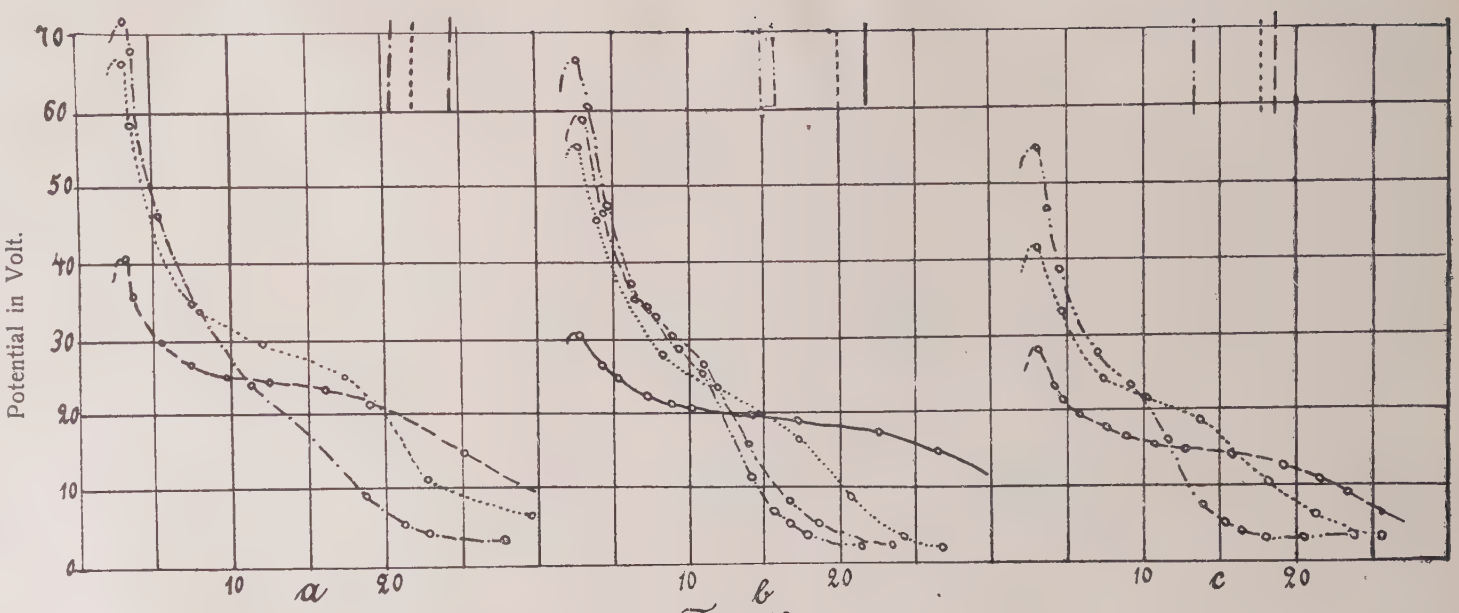

Abstand von der Kathode in mm.
Potential in Volt.
70
60
50
40
30
20
10
0
10
20
a
10
20
b
10
20
c

Fig. 19

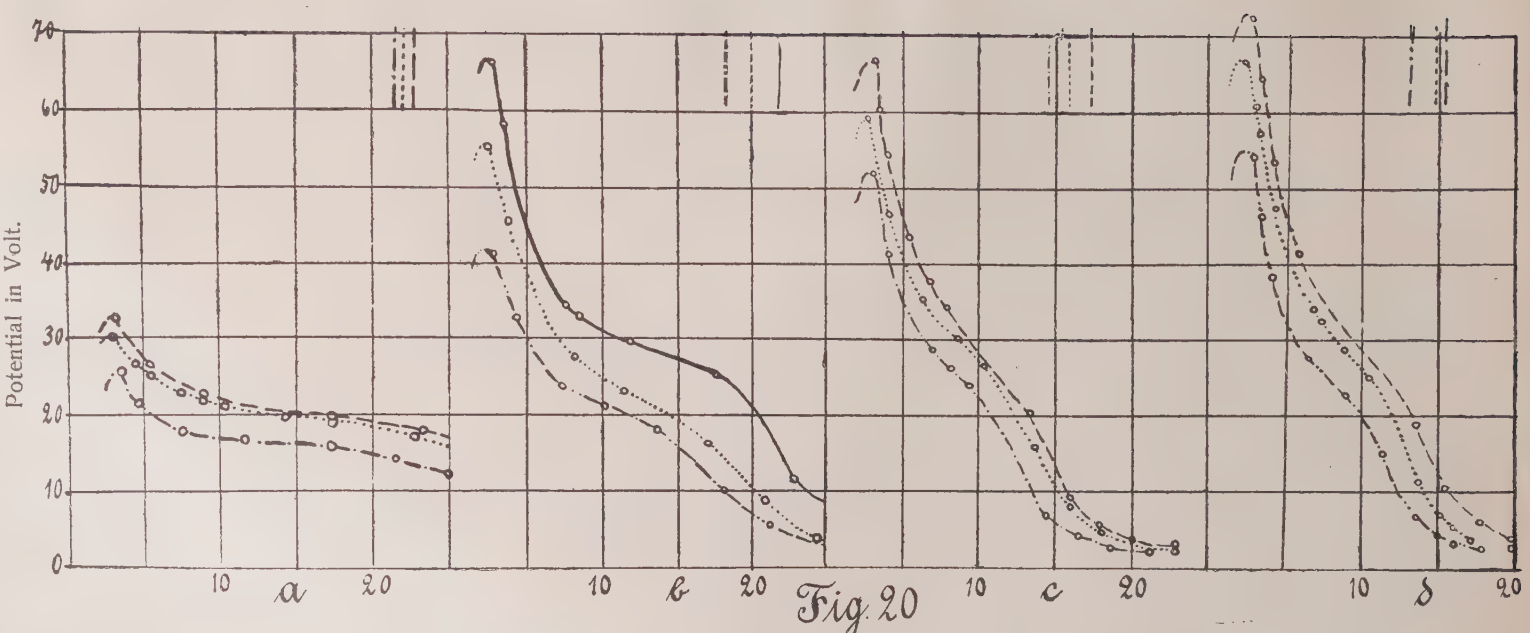

Abstand von der Kathode in mm.
Potential in Volt.
70
60
50
40
30
20
10
0
10
a
20
10
b
20
10
c
20
10
d
20

Fig. 20

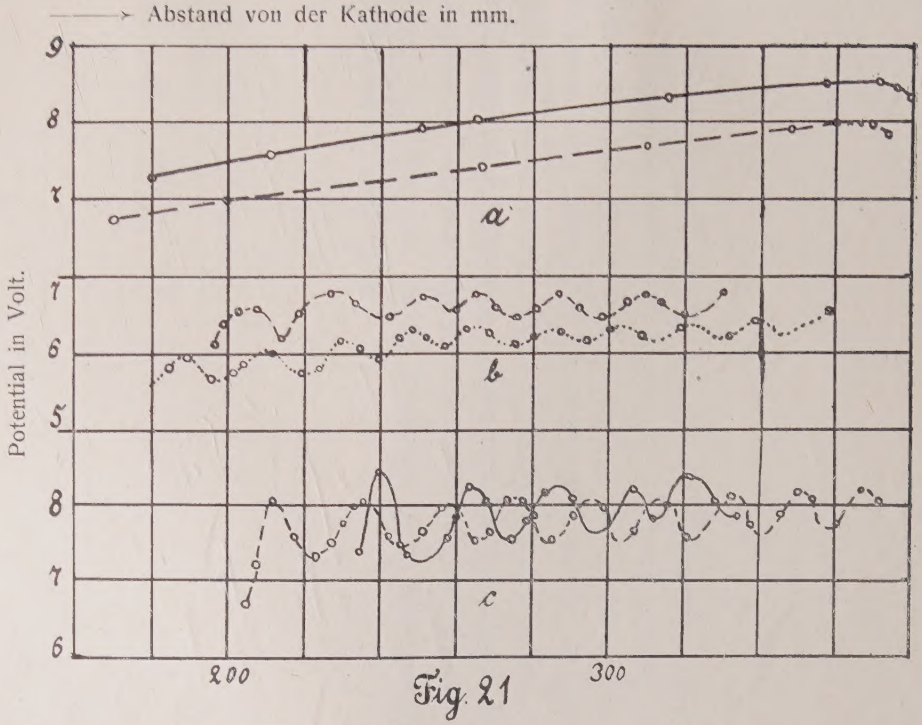

Abstand von der Kathode in mm.
Potential in Volt.
9
8
7
7
6
5
8
7
6
a
b
c
200
300

Fig. 21

Die vorliegende Arbeit wurde im Physikalischen Institut der Universität Berlin auf Anregung und unter Leitung von Herrn Prof. Dr. Wehnelt ausgeführt. Es sei mir gestattet, an dieser Stelle Herrn Prof. Dr. Wehnelt für das vielseitige Interesse, das er meiner Arbeit entgegengebracht hat, und für seine wertvollen Ratschläge meinen ehrerbietigsten Dank auszusprechen. Zugleich sage ich dem Herrn Privatdozenten Prof. Dr. O. von Baeyer für die Ratschläge, die er mir erteilt hat, meinen aufrichtigen Dank.

Lebenslauf.

Ich, Auguste Karoline Erdmunde Katharina Brockmann, bin am 20. März 1885 in Potsdam, Kreis Potsdam, Regierungsbezirk Potsdam im Bundesstaat Preußen, geboren. Ich bin evangelisch-lutherischer Konfession. Mein Vater, Karl Brockmann, war Verwaltungsdirektor der Tabakberufsgenossenschaft in Berlin. Er ist am 30. Oktober 1897 gestorben. Meine Mutter Auguste, geb. Rohne, lebt in Berlin. Ich habe einen Bruder, der als Stabsarzt und Bataillonsarzt bei dem 2. Bataillon des Lehr-Regiments der Fußartillerie-Schießschule in Jüterbog steht und sich zur Zeit als Stabsarzt und Korpsarzt beim Garde-Reserve-Korps im Felde befindet. Meine erste Erziehung und erste wissenschaftliche Ausbildung erhielt ich im Elternhause und in der Luisenschule zu Berlin, die ich von Ostern 1892 bis Ostern 1902 besuchte. Von Ostern 1902 bis Ostern 1905 besuchte ich das Königliche Lehrerinnenseminar zu Berlin. Am 23. Februar 1905 bestand ich die Prüfung als Lehrerin für mittlere und höhere Mädchenschulen. Ich bereitete mich privatim zur Reifeprüfung an einem humanistischen Gymnasium vor. Am 28. September 1908 bestand ich die Reifeprüfung am Königlichen Luisengymnasium in Berlin.

Ich widmete mich dann an der Universität Berlin dem Studium der Mathematik, Physik und Chemie.

Seit Ostern 1911 arbeitete ich im Physikalischen Institut der hiesigen Universität unter der Leitung von Herrn Prof. Dr. Wehnelt, dem ich für die Anregung und das große Interesse, das er meiner Arbeit entgegenbrachte, zu größtem Dank verpflichtet bin.

Ich nahm teil an den Vorlesungen und Uebungen der Herren: Blasius, Dessoir, Ficker, Frobenius, Gabriel, Geiger, Krigar-Menzel, Marckwald, Meyer, Nernst, Planck, Riehl, Rubens, Schur, Schwarz, Wehnelt, Weinstein.

Allen meinen Lehrern, insbesondere Herrn Prof. Dr. Wehnelt und Herrn Geh. Reg.-Rat Prof. Dr. Planck, bin ich zu großem Dank verpflichtet.

Die Promotionsprüfung bestand ich am 25. Februar 1915.